



República Federativa do Brasil
Ministério da Economia
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) PI 0919792-3 B1



* B R F I O 9 1 9 7 9 2 B 1 *

(22) Data do Depósito: 14/10/2009

(45) Data de Concessão: 10/03/2020

(54) Título: MÁQUINA ELÉTRICA ROTATIVA E VEÍCULO ELÉTRICO

(51) Int.Cl.: H02K 1/22; B60L 11/14; B60W 10/08; B60W 20/00; H02K 1/27; (...).

(30) Prioridade Unionista: 16/10/2008 JP 2008-266952.

(73) Titular(es): HITACHI AUTOMOTIVE SYSTEMS, LTD..

(72) Inventor(es): YASUYUKI SAITO; TSUYOSHI GOTO; KENICHI NAKAYAMA; NORIAKI HINO; SHINJI SUGIMOTO.

(86) Pedido PCT: PCT JP2009067795 de 14/10/2009

(87) Publicação PCT: WO 2010/044426 de 22/04/2010

(85) Data do Início da Fase Nacional: 18/04/2011

(57) Resumo: MÁQUINA ELÉTRICA ROTATIVA E VEÍCULO ELÉTRICO A presente invenção refere-se a uma máquina elétrica rotativa que inclui um estator que tem uma bobina de estator e um rotor proporcionado de maneira giratória ao redor de um eixo geométrico de rotação específico em relação ao estator. O rotor inclui uma pluralidade de ímãs, uma pluralidade de elementos de polo salientes magneticamente auxiliados proporcionados entre os polos de quaisquer dois ímãs entre a pluralidade de ímãs, e uma unidade de variação de magneto-resistência proporcionada no elemento de polo saliente magneticamente auxiliado ao longo de uma direção axial do eixo geométrico de rotação em um desvio de posição em uma direção circunferencial do eixo geométrico de rotação a partir de um eixo geométrico que passa através de um centro de polo saliente do elemento de polo saliente magneticamente auxiliado. A quantidade de desvio da unidade de variação de magneto-resistência a partir do eixo geométrico q varia dependendo das posições dos elementos de polo salientes magneticamente auxiliados de modo que flutuações de torque cancelem umas às outras quando a energia é aplicada.

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para **"MÁQUINA ELÉTRICA ROTATIVA E VEÍCULO ELÉTRICO"**.

CAMPO DA TÉCNICA

A presente invenção refere-se a uma máquina elétrica rotativa e
5 um veículo elétrico equipado com a máquina elétrica rotativa.

ANTECEDENTES DA INVENÇÃO

Requer-se que os motores para acionamento usados em veícu-
los elétricos e veículos híbridos proporcionem saída de energia significativa,
de modo que os motores de ímã permanente que incluem um elemento de
10 terra rara que retém energia intensa geralmente sejam usados. Os motores
para uso de acionamento, entre tais motores de ímã permanente, motores
de ímã tipo embutido, que podem satisfazer o requisito para proporcionar um
grande torque em baixas velocidades e uma ampla faixa de velocidade de
rotação.

15 As flutuações de torque de um motor são causas de ruídos e vi-
brações. Em particular, no caso de veículos elétricos, se origina o problema
em que as flutuações de torque tornam o percurso desconfortável em baixas
velocidades. Os motores convencionais geralmente adotam uma contrame-
dida para proporcionar inclinação, a fim de reduzir as flutuações de torque.
20 Por exemplo, se conhece um motor em que uma chapa de aço eletromagné-
tica dotada de sulcos é disposta na lateral da periferia externa de um ímã
embutido em um rotor e os sulcos são dispostos em uma direção ao longo
da periferia de uma porção de eixo rotativo.

LISTA DE CITAÇÃO

25 LITERATURA DE PATENTE

[Literatura de Patente 1] JP 2005-176424 A

SUMÁRIO DA INVENÇÃO

PROBLEMA DA TÉCNICA

30 No caso do motor descrito acima que é dotado de sulcos na late-
ral da periferia externa do ímã, os sulcos são dispostos em posições em que
os fluxos magnéticos fluem cada um dos casos quando a energia é aplicada
e quando a energia não é aplicada. Como um resultado, um problema surge.

Por exemplo, se os sulcos forem proporcionados nas posições, de modo que as flutuações quando a energia estiver ligada sejam reduzidas, o torque de endentamento seja aumentado e, por outro lado, se os sulcos forem proporcionados nas posições, de modo que o torque de endentamento seja reduzido, as flutuações de torque quando a energia for aplicada são aumentadas.

Um objetivo da presente invenção consiste em aprimorar o desempenho (por exemplo, eficiência, confiabilidade, desempenho de custo ou produtividade) de um motor.

SOLUÇÃO PARA O PROBLEMA

Uma máquina elétrica rotativa, de acordo com um primeiro aspecto da presente invenção inclui um estator que tem uma bobina de estator e um rotor proporcionado de maneira giratória ao redor de um eixo geométrico de rotação específico em relação ao estator. O rotor inclui uma pluralidade de ímãs, uma pluralidade de elementos de polo saliente magneticamente auxiliados proporcionados entre os polos de quaisquer dois ímãs adjacentes entre a pluralidade de ímãs, e uma unidade de variação de magneto-resistência proporcionada no elemento de polo saliente magneticamente auxiliado ao longo de uma direção axial do eixo geométrico de rotação em um desvio de posição em uma direção circunferencial do eixo geométrico de rotação a partir de um eixo geométrico q que passa através de um centro de polo saliente do elemento de polo saliente magneticamente auxiliado. A quantidade de desvio da unidade de variação de magneto-resistência a partir do eixo geométrico q varia dependendo das posições dos elementos de polo salientes magneticamente auxiliados, de modo que as flutuações de torque se anulem quando a energia for aplicada.

De acordo com um segundo aspecto da presente invenção, é preferível na máquina elétrica rotativa, de acordo com o primeiro aspecto, que a unidade de variação de magneto-resistência seja uma abertura de ar magnética.

De acordo com um terceiro aspecto da presente invenção, é preferível na máquina elétrica rotativa, de acordo com o segundo aspecto, que as posições circunferenciais dos ímãs no rotor sejam constantes indepen-

dente das posições na direção axial,

De acordo com um quarto aspecto da presente invenção, na máquina elétrica rotativa, de acordo com o segundo aspecto, o rotor pode ser dividido em uma pluralidade de núcleos separados na direção axial que são proporcionados ao longo da direção axial e cada um dos quais tem o ímã, o elemento de polo saliente magneticamente auxiliado e a abertura de ar magnética. É preferível que as posições circunferenciais dos ímãs nos núcleos separados na direção axial sejam constantes independente das posições na direção axial.

De acordo com um quinto aspecto da presente invenção, na máquina elétrica rotativa, de acordo com o quarto aspecto, o rotor pode incluir uma pluralidade de grupos de núcleo cada um que consiste em uma pluralidade dos núcleos separados na direção axial que tem substancialmente as mesmas posições das aberturas de ar magnéticas na direção circunferencial. É preferível que uma soma da espessura da pluralidade de núcleos separados na direção axial que constitui o grupo de núcleo na direção axial seja constante para cada uma das pluralidades de grupos de núcleo.

De acordo com um sexto aspecto da presente invenção, na máquina elétrica rotativa, de acordo com o segundo aspecto, a abertura de ar magnética pode ser um côncavo formado em uma superfície do rotor.

De acordo com um sétimo aspecto da presente invenção, é preferível na máquina elétrica rotativa, de acordo com o sexto aspecto, que o côncavo tenha um ângulo de largura na direção circunferencial que se encontra na faixa de $1/4$ a $1/2$ vezes um ângulo de passo entre quaisquer dois dentes adjacentes proporcionados no estator.

De acordo com um oitavo aspecto da presente invenção na máquina elétrica rotativa, de acordo com o segundo aspecto, a abertura de ar magnética pode ser um orifício formado em uma superfície do rotor.

De acordo com um nono aspecto da presente invenção, é preferível na máquina elétrica rotativa, de acordo com o oitavo aspecto, que o orifício seja formado de maneira integrada com um orifício no qual o ímã é proporcionado.

De acordo com um décimo aspecto da presente invenção, é preferível na máquina elétrica rotativa, de acordo com o primeiro aspecto, que a pluralidade de ímãs seja disposta na direção circunferencial, de modo que uma direção de magnetização de cada ímã se encontre em uma direção radial do rotor que é perpendicular à direção axial e uma orientação de magnetização de cada ímã seja alternadamente inversa.

De acordo com um décimo primeiro aspecto da presente invenção, na máquina elétrica rotativa, de acordo com o décimo aspecto, cada um dos ímãs pode constituir um grupo de ímãs que consiste em uma pluralidade de ímãs que tem substancialmente a mesma orientação de magnetização.

De acordo com um décimo segundo aspecto da presente invenção, na máquina elétrica rotativa, de acordo com o segundo aspecto, o elemento de polo saliente magneticamente auxiliado pode ser dotado de uma pluralidade de aberturas de ar magnéticas.

De acordo com um décimo terceiro aspecto da presente invenção, na máquina elétrica rotativa, de acordo com o segundo aspecto, as aberturas de ar magnéticas podem ser dispostas de maneira assimétrica em relação ao eixo geométrico q que passa através do centro de polo saliente e de maneira simétrica em relação a um eixo geométrico d que passa através um centro de polo magnético do ímã.

De acordo com um décimo quarto aspecto da presente invenção, na máquina elétrica rotativa, de acordo com o segundo aspecto, as aberturas de ar magnéticas podem ser dispostas de maneira simétrica em relação ao eixo geométrico q que passa através do centro de polo saliente e de maneira assimétrica em relação a um eixo geométrico d que passa através de um centro de polo magnético do ímã.

De acordo com um décimo quinto aspecto da presente invenção, na máquina elétrica rotativa, de acordo com o primeiro aspecto, o rotor pode incluir uma pluralidade de núcleos de rotor, cada um que inclui um laminado de chapas de aço eletromagnéticas dotado de um orifício ou reentrância que constitui uma abertura de ar magnética.

De acordo com um décimo sexto aspecto da presente invenção,

é possível na máquina elétrica rotativa, de acordo com o décimo quinto aspecto, que cada um dos núcleos de rotor tenha uma posição diferente da abertura de ar magnética dependendo da posição na direção axial ao desviar as chapas de aço eletromagnéticas na direção circunferencial através de uma unidade de passo de polo magnético do ímã,

De acordo com um décimo sétimo aspecto da presente invenção, na máquina elétrica rotativa, de acordo com o segundo aspecto, o rotor pode incluir uma primeira estrutura inclinada na qual os ímãs são dispostos desviados na direção circunferencial que corresponde às posições axiais dos ímãs e uma segunda estrutura inclinada na qual as aberturas de ar magnéticas são dispostas desviadas na direção circunferencial que corresponde às posições axiais das aberturas de ar magnéticas.

De acordo com um décimo oitavo aspecto da presente invenção, é preferível na máquina elétrica rotativa, de acordo com o primeiro aspecto, que a bobina de estator seja enrolada pelo enrolamento distribuído.

Um veículo elétrico, de acordo com um décimo nono aspecto da presente invenção, inclui uma máquina elétrica rotativa, de acordo com o primeiro aspecto; uma bateria que fornece corrente direta; e uma unidade de conversão que converte a corrente direta da bateria em uma corrente alternada e fornece a corrente alternada para a máquina elétrica rotativa, e utiliza um torque da máquina elétrica rotativa como uma força de acionamento.

EFEITO VANTAJOSO DA INVENÇÃO

De acordo com a presente invenção, o desempenho (por exemplo, eficiência, confiabilidade, desempenho de custo ou produtividade) de um motor pode ser aprimorado.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

A figura 1 mostra uma construção esquemática de um veículo elétrico híbrido que tem mostrado neste uma máquina elétrica rotativa, de acordo com uma modalidade da presente invenção;

A figura 2 apresenta um diagrama de circuito do aparelho de conversão de energia 600 mostrado na figura 1;

A figura 3 apresenta uma vista em seção transversal da máquina

elétrica rotativa 200 ou 202 mostrada na figura 1;

A figura 4(a) apresenta uma vista em perspectiva do núcleo de rotor 252 mostrado na figura 3;

5 A figura 4(b) apresenta uma vista em perspectiva explodida do núcleo de rotor 252 mostrado na figura 3;

A figura 5(a) apresenta uma vista em seção transversal do estator 230 e do rotor 250 ao longo da linha A-A da figura 3;

A figura 5(b) apresenta uma vista em seção transversal do estator 230 e do rotor 250 ao longo da linha B-B da figura 3;

10 A figura 6(a) apresenta uma vista em seção transversal ampliada próxima ao ímã permanente 254b ao longo da linha A-A da figura 3;

A figura 6(b) apresenta uma vista em seção transversal ampliada próxima ao ímã permanente 254b ao longo da linha B-B da figura 3;

15 A figura 7 apresenta um diagrama ilustrativo do torque de relutância;

A figura 8(a) mostra a distribuição de fluxos magnéticos na seção transversal A-A quando a energia não é aplicada;

A figura 8(b) mostra a distribuição de fluxos magnéticos da máquina elétrica rotativa apenas na região 401;

20 A figura 8(c) mostra a distribuição de fluxos magnéticos da máquina elétrica rotativa apenas na região 402;

A figura 9(a) mostra a forma de onda do torque de endentamento quando a energia não é aplicada;

25 A figura 9(b) mostra a forma de onda da voltagem de linha induzida quando a energia não é aplicada;

A figura 10(a) mostra a distribuição de fluxos magnéticos na seção transversal A-A quando a energia é aplicada;

A figura 10(b) mostra a distribuição de fluxos magnéticos da máquina elétrica rotativa apenas na região 401;

30 Figura 10(c) mostra distribuição de fluxos magnéticos da máquina elétrica rotativa apenas na região 402;

A figura 11(a) mostra a forma de onda de flutuações de torque

quando a energia é aplicada;

A figura 11(b) mostra a forma de onda da voltagem de linha quando a energia é aplicada;

5 A figura, 12 apresenta uma vista em seção transversal que ilustra uma redução no torque de endentamento que mostra uma parte de cada um entre o núcleo de estator 232 e o rotor 250;

A figura 13 apresenta um diagrama que mostra a relação entre a razão do radiano de polo magnético τ_m/τ_p e do torque de endentamento;

10 A figura 14 apresenta um diagrama que mostra o torque máximo quando as razões de radiano de polo magnético τ_m/τ_p e τ_g/τ_p forem alteradas;

A figura 15(a) mostra seções transversais do estator 230 e o rotor 250 da máquina elétrica rotativa tipo ímã de superfície, de acordo com outra modalidade da presente invenção;

15 A figura 15(b) mostra seções transversais do estator 230 e do rotor 250 do tipo de máquina elétrica rotativa no qual uma pluralidade de ímãs é disposta em uma configuração em formato de V, de acordo com outra modalidade da presente invenção;

20 A figura 16 mostra seções transversais do estator 230 e do rotor, 250 de acordo com outra modalidade da presente invenção;

A figura 17(a) mostra seções transversais do estator 230 e do rotor 250, de acordo com outra modalidade;

A figura 17(b) mostra seções transversais do estator 230 e do rotor 250, de acordo com outra modalidade;

25 A figura 17(c) mostra seções transversais do estator 230 e do rotor 250, de acordo com outra modalidade;

A figura 18 apresenta uma vista em seção transversal do estator 230 e do rotor 250, de acordo com outra modalidade, em uma máquina elétrica rotativa com enrolamento concentrado:

30 A figura 19(a) apresenta uma vista em perspectiva do núcleo de rotor 252, de acordo com outra modalidade da presente invenção;

A figura 19(b) apresenta uma vista em perspectiva explodida do

núcleo de rotor 252, de acordo com outra modalidade da presente invenção;

A figura 20(a) apresenta a vista em seção transversal do estator 230 e do rotor 250 ao longo da linha A-A que passa uma parte do núcleo 301;

5 A figura 20(b) apresenta a vista em seção transversal do estator 230 e do rotor 250 ao longo da linha A-A que passa uma parte do núcleo 302;

A figura 21(a) apresenta uma vista em seção transversal ampliada próxima ao ímã permanente 254b ao longo da linha A-A;

10 A figura 21(b) apresenta uma vista em seção transversal ampliada próxima ao ímã permanente 254b ao longo da linha B-B;

A figura 22(a) mostra uma máquina elétrica rotativa tipo ímã de superfície, de acordo com outra modalidade da presente invenção;

15 A figura 22(b) mostra a máquina elétrica rotativa, de acordo com outra modalidade da presente invenção na qual uma pluralidade de ímãs é disposta em uma configuração em formato de V;

A figura 23 mostra a máquina elétrica rotativa dotada de duas aberturas de ar magnéticas 258 para um polo saliente auxiliado 259, que mostra o estator 230 e o rotor 250 em seção transversal;

20 A figura 24(a) apresenta uma vista em seção transversal do estator 230 e do rotor 250, de acordo com outra modalidade da presente invenção;

25 A figura 24(b) apresenta uma vista em seção transversal do estator 230 e do rotor 250, de acordo com outra modalidade da presente invenção;

A figura 24(c) apresenta a vista em seção transversal do estator 230 e do rotor 250, de acordo com outra modalidade da presente invenção;

e

30 A figura 25 apresenta uma vista em seção transversal do estator 230 e do rotor 250 em uma máquina elétrica rotativa com enrolamento concentrado.

DESCRIÇÃO DAS MODALIDADES

Daqui por diante, uma modalidade da presente invenção será explicada com referência aos desenhos em anexo.

A máquina elétrica rotativa, de acordo com a presente modalidade, pode suprimir tanto o torque de endentamento quando a energia não é aplicada como as flutuações de torque quando a energia é aplicada, conforme será explicado abaixo, de modo que uma redução no tamanho, uma redução no custo e redução nas flutuações de torque possam ser obtidas. Como um resultado, a máquina elétrica rotativa, de acordo com a presente modalidade, é adequada como um motor para acionar um veículo elétrico e um veículo elétrico que produz baixa vibração e baixos ruídos e, portanto, dada qualidade de percurso pode ser proporcionada. A máquina elétrica rotativa pode ser aplicada em um veículo elétrico genuíno que é acionado apenas por uma máquina elétrica rotativa e em um veículo elétrico híbrido que é acionado tanto por um motor como uma máquina elétrica rotativa. Daqui por diante, a explicação é focalizada no veículo elétrico híbrido.

PRIMEIRA MODALIDADE

A figura 1 apresenta um diagrama esquemático que mostra a construção de um veículo elétrico híbrido que tem montado neste uma máquina elétrica rotativa, de acordo com uma modalidade da presente invenção. Um veículo 100 tem montado neste um motor 120 e uma primeira máquina elétrica rotativa 200, uma segunda máquina elétrica rotativa 202 e uma bateria 180. A bateria 180 fornece corrente direta para as máquinas elétricas rotativas 200 e 202 quando as forças de acionamento das máquinas elétricas rotativas 200 e 202 forem requeridas e a bateria 180 receber corrente direta das máquinas elétricas rotativas 200 e 202 mediante o acionamento regenerativo. A transferência de corrente direta entre a bateria 180 e as máquinas elétricas rotativas 200 e 202 é conduzida através de uma unidade de conversão de energia 600. Embora não mostrado, o veículo tem montado neste uma bateria que fornece energia de baixa voltagem (por exemplo, energia de volt 14) e fornece corrente direta para um circuito de controle, que será posteriormente explicado.

Os torques de rotação através do motor 120 e das máquinas elétricas rotativas 200 e 202 são transmitidos para as rodas dianteiras 110 através de uma transmissão 130 e uma engrenagem diferencial 160. A transmissão 130 é controlada por uma unidade de controle de transmissão 134 e o motor 120 é controlado por uma unidade de controle de motor 124. A bateria 180 é controlada por uma unidade de controle de bateria 184. A unidade de controle de transmissão 134, a unidade de controle de motor 124, a unidade de controle de bateria 184, a unidade de conversão de energia 600, e uma unidade de controle integrado 170 são conectadas entre si através de uma linha de comunicação 174.

A unidade de controle integrado 170 recebe informações de estado que indicam um estado de cada uma das unidades de controle a partir dos dispositivos de controle a jusante da unidade de controle integrado 170, isto é, da unidade de controle de transmissão 134, da unidade de controle de motor 124, da unidade de conversão de energia 600 e da unidade de controle de bateria 184 através da linha de comunicação 174. A unidade de controle integrado 170 calcula um comando de controle para cada um dos dispositivos de controle com base nas informações de estado. Os comandos de controle calculados são transmitidos para as respectivas unidades de controle através do circuito de comunicação 174.

A bateria 180, que se encontra em alta voltagem, compreende uma bateria secundária, tal como, bateria de íon-lítio ou uma bateria de níquel-hidreto metálico e emite corrente direta em alta voltagem na faixa de 250 V a 600 V ou mais alta. A unidade de controle de bateria 184 emite informações em um estado de descarga da bateria 180 e informações sobre um estado de cada célula de unidade da bateria incluída na bateria 180 para a unidade de controle integrado 170 através da linha de comunicação 174.

A unidade de controle integrado 170 determina se a carga da bateria 180 é necessária ou não com base nas informações de estado a partir da unidade de controle de bateria 180 e emite uma instrução para realizar a operação de geração de energia para a unidade de conversão de energia 600 quando a carga da bateria 180 for determinada como necessária. A uni-

dade de controle integrado 170 realiza principalmente o gerenciamento de torques de saída do motor 120 e das máquinas elétricas rotativas 200 e 202, o cálculo de um torque integrado e uma distribuição de razões de torques a partir do torque de saída do motor 120 e dos torques de saída das máquinas elétricas rotativas 200 e 202, e a transmissão de comandos de controle com base nos resultados do cálculo para a unidade de controle de transmissão 134, a unidade de controle de motor 124 e a unidade de conversão de energia 600. A unidade de conversão de energia 600 controla as máquinas elétricas rotativas 200 e 202 para gerar o torque emitido ou energia de alimentação gerada conforme comandado com base no comando de torque da unidade de controle integrado 170.

A unidade de conversão de energia 600 é dotada de um semicondutor de energia que constitui um inversor para acionar as máquinas elétricas rotativas 200 e 202. A unidade de conversão de energia 600 controla uma operação de comutação do semicondutor de energia com base no comando a partir da unidade de controle integrado 170. As máquinas elétricas rotativas 200 e 202 são operadas como máquinas ou alternadores elétricos através da operação de comutação do semicondutor de energia.

Quando as máquinas elétricas rotativas 200 e 202 forem operadas como máquinas elétricas, a corrente direta da bateria de alta voltagem 180 é fornecida para os terminais de corrente direta do inversor na unidade de conversão de energia 600. A unidade de conversão de energia 600 converte a corrente direta fornecida na corrente alternada trifásica ao controlar a operação de comutação do semicondutor de energia e fornece a corrente alternada obtida para as máquinas elétricas rotativas 200 e 202. Por outro lado, quando as máquinas elétricas rotativas 200 e 202 forem operadas como alternadores, os rotores das máquinas elétricas rotativas 200 e 202 são acionados e girados pelo torque rotativo aplicado a partir de fora para gerar a corrente alternada trifásica nos enrolamentos de estator das máquinas elétricas rotativas 200 e 202. A corrente alternada trifásica gerada é convertida na corrente direta através da unidade de conversão de energia 600. A corrente direta obtida é fornecida para a bateria de alta voltagem 180 para efe-

tuar a carga.

A figura 2 apresenta um diagrama de circuito da unidade de conversão de energia 600 mostrada na figura 1. A unidade de conversão de energia 600 é dotada de uma primeira unidade inversora para a máquina elétrica rotativa 200 e uma segunda unidade inversora para a máquina elétrica rotativa 202. A primeira unidade inversora inclui um módulo de energia 610, um primeiro circuito de acionamento 652 que controla a operação de comutação de cada semicondutor de energia 21 no módulo de energia 610 e um sensor de corrente 660 que detecta a corrente na máquina elétrica rotativa 200. O circuito de acionamento 652 é proporcionado em uma placa de circuito de acionamento 650. Por outro lado, a segunda unidade inversora inclui um módulo de energia 620, um segundo circuito de acionamento 656 que controla a operação de comutação de cada semicondutor de energia 21 no módulo de energia 620 e um sensor de corrente 662 que detecta a corrente na máquina elétrica rotativa 202. O circuito de acionamento 656 é proporcionado em uma placa de circuito de acionamento 654. Um circuito de controle 648 proporcionado em uma placa de circuito de controle 646, um módulo capacitor 630 e um circuito de transmissão e recepção 644 implementados em uma placa de conector 642 são usados em comum pelas primeira e segunda unidades inversoras.

Os módulos de energia 610 e 620 operam em resposta aos sinais de acionamento correspondentes emitidos a partir dos circuitos de acionamento 652 e 656, respectivamente. Os módulos de energia 610 e 620 convertem a corrente direta fornecida a partir da bateria 180 na corrente alternada trifásica e fornecem a energia obtida para as bobinas de estator, que são bobinas do induzido das máquinas elétricas rotativas correspondentes 200 e 202, respectivamente. Os módulos de energia 610 e 620 convertem a corrente alternada induzida nas bobinas de estator das máquinas elétricas rotativas 200 e 202 na corrente direta e, então, fornecem a corrente direta resultante para a bateria de alta voltagem 180.

Os módulos de energia 610 e 620 incluem um circuito de ponte trifásico, conforme mostrado na figura 2. Os circuitos em série que corres-

pondem às três fases são eletricamente conectados em paralelo entre o lado de eletrodo positivo e o lado de eletrodo negativo da bateria 184. Cada um dos circuitos em série inclui um semicondutor de energia 21 que constitui um braço superior e um semicondutor de energia 21 que constitui um braço inferior. Os semicondutores de energia 21 são conectados uns aos outros em série. O módulo de energia 610 e o módulo de energia 620 têm substancialmente a mesma construção de circuito, conforme mostrado na figura 2. Aqui, o módulo de energia 610 será explicado em nome de ambos.

Na presente modalidade, o IGBT (Transistor Bipolar de Porta Isolada) 21 é usado como o semicondutor de energia para comutação, o IGBT 21 inclui três eletrodos, isto é, um eletrodo coletor, um eletrodo emissor e um eletrodo de porta. Entre o eletrodo coletor e o eletrodo emissor do IGBT 21 um diodo 38 é eletricamente conectado. O diodo 38 inclui dois eletrodos, isto é, um cátodo e um ânodo. O cátodo e o ânodo são eletricamente conectados ao eletrodo coletor e ao eletrodo emissor, respectivamente, do IGBT 21, de modo que uma direção a partir do eletrodo emissor até o eletrodo coletor do IGBT 21 seja uma direção dianteira.

Também, o MOSFET (Transistor de Efeito de Campo de Semicondutor de Óxido Metálico) pode ser usado como o semicondutor de energia para comutação. O MOSFET inclui três eletrodos, isto é, um eletrodo de dreno, um eletrodo de fonte e um eletrodo de porta. Uma vez que o MOSFET inclui um diodo parasita entre o eletrodo de fonte e o eletrodo de dreno, de modo que uma direção a partir do eletrodo de dreno até o eletrodo de fonte seja uma direção dianteira, não é necessário que o MOSFET inclua o diodo 38, conforme mostrado na figura 2.

Os braços para as respectivas fases incluem o eletrodo de fonte do IGBT 21 e o eletrodo de dreno do IGBT 21 eletricamente conectados uns aos outros em série. Na presente modalidade, apenas um único IGBT é mostrado para cada um dos braços superior e inferior para cada fase. Na realidade, uma pluralidade de IGBTs é eletricamente conectada em paralelo, uma vez que a capacidade de corrente a ser controlada é enorme. Daqui por diante, um único semicondutor de energia é descrito a fim de tornar a expli-

cação mais simples.

No exemplo mostrado na figura 2, cada um dos braços superior e inferior para cada fase inclui três IGBTs. O eletrodo de dreno do IGBT 21 em cada braço superior para cada fase e o eletrodo de fonte do IGBT 21 em cada braço inferior para cada fase são eletricamente conectados ao lado de eletrodo positivo e ao lado de eletrodo negativo, respectivamente, da bateria 180. Os pontos intermediários dos respectivos braços para cada fase (uma parte de conexão entre o eletrodo de fonte do IGBT de lado de braço superior e o eletrodo de dreno do IGBT de lado de braço inferior) são eletricamente conectados às bobinas do induzido (bobinas de estator) da fase correspondente das máquinas elétricas rotativas correspondentes 200 e 202.

Os circuitos de acionamento 652 e 656 constituem as respectivas unidades de acionamento para controlar os módulos de energia correspondentes 610 e 620 e gerar os sinais de acionamento para acionar os IGBTs 21 com base nos sinais de controle emitidos a partir do circuito de controle 648. Os sinais de acionamento gerados nos circuitos de acionamento 652 e 656 são emitidos para a porta de cada semicondutor de energia nos módulos de energia 610 e 620. Os circuitos de acionamento 652 e 656 são proporcionados com seis circuitos integrados que geram os sinais de acionamento fornecidos para as respectivas portas dos braços superior e inferior para cada fase. Os seis circuitos integrados são formados como um bloco.

O circuito de controle 648 constitui a unidade de controle em cada um dos módulos de energia 610 e 620. O circuito de controle 648 compreende um microcomputador que calcula os sinais de controle (valores de controle) para operar (ligar e desligar) a pluralidade de semicondutores de energia para comutação. O comando de torque sinaliza (valores de comando de torque) a partir de uma unidade de controle superior, o sensor emite a partir dos sensores de corrente 660 e 662 e o sensor emite a partir dos sensores de rotação montados nas máquinas elétricas rotativas 200 e 202 são inseridos no circuito de controle 648. O circuito de controle 648 calcula os valores de controle com base nos sinais de entrada e emite sinais de controle para controlar a temporização de comutação nos circuitos de acionamento

652 e 656.

O circuito de transmissão e recepção 644 implementado na placa de conector 624 serve para conectar a unidade de conversão de energia 600 e uma unidade de controle externa, e transmite e recebe informações por outras unidades através da linha de comunicação 174 conforme mostrado na figura 1. O módulo capacitor 630 constitui um circuito de atenuação para suprimir uma flutuação na voltagem de corrente direta gerada pela operação de comutação do IGBT 21 e é eletricamente conectado em paralelo ao terminal no lado de corrente direta no primeiro módulo de energia 610 e no segundo módulo de energia 620.

A figura 3 apresenta uma vista em seção transversal da máquina elétrica rotativa 200 ou 202 mostrada na figura 1. As máquinas elétricas rotativas 200 e 202 têm substancialmente as mesmas estruturas. Daqui por diante, a explicação é efetuada adotando a estrutura da máquina elétrica rotativa 200 como um exemplo representativo. A estrutura explicada daqui por diante não precisa ser adotada em ambas as máquinas elétricas rotativas 200 e 202, porém, será suficiente se for adotada em pelo menos uma delas.

Dentro de um alojamento 212, mantém-se o estator 230. O estator 230 inclui o núcleo de estator 232 e a bobina de estator 238. O rotor 250 é mantido de maneira giratória dentro do núcleo de estator 232 com uma abertura de ar 222. O rotor 250 inclui o núcleo de rotor 252, os ímãs permanentes 254 e placas de desgaste não magnéticas 226. O núcleo de rotor 252 é fixado a um eixo 218. O alojamento 212 tem um par de suportes de extremidade 214 cada um dotado de um mancal 216. O eixo 218 é mantido de maneira giratória por estes mancais 216.

Conforme mostrado na figura 3, o eixo 218 é dotado de um resolvidor 224 que detecta as posições dos polos do rotor 250 e a velocidade de rotação do rotor 250. Uma saída a partir do resolvidor 224 é introduzida no circuito de controle 648 mostrado na figura 2. O circuito de controle 648 emite os sinais de controle para o circuito de acionamento 652 com base na saída introduzida. O circuito de acionamento 652 emite os sinais de acionamento para o módulo de energia 610 com base nos sinais de controle. O

módulo de energia 610 realiza a operação de comutação com base nos sinais de controle para converter a corrente direta fornecida a partir da bateria 180 na corrente alternada trifásica. A corrente alternada trifásica é fornecida para a bobina de estator 238 e um campo magnético giratório é gerado no estator 230. A frequência da corrente alternada trifásica é controlada com base no valor detectado pelo resolvidor 224. Também, as fases da corrente alternada trifásica são controladas com base no valor detectado pelo resolvidor 224.

A figura 4(a) apresenta uma vista em perspectiva do núcleo de rotor 252 do rotor 250. O núcleo de rotor 252 inclui dois núcleos 301 e 302, conforme mostrado na figura 4(b). O comprimento H2 do núcleo 302 ao longo de sua direção axial é ajustado para ser substancialmente igual ao comprimento H1 do núcleo 301 ao longo de sua direção axial. As figuras 5(a) e 5(b) mostram o estator 230 e o rotor 250 em seção transversal. A figura 5(a) apresenta uma vista em seção transversal ao longo da linha A-A que passa através uma parte do núcleo 301 (vide figura 3). A figura 5(b) apresenta uma vista em seção transversal ao longo da linha B-B que passa através de uma parte do núcleo 302 (vide figura 3). Nas figuras 5(a) e 5(b), a descrição do alojamento 212, do eixo 218 e da bobina de estator 238 é omitida.

No lado de periferia interna do núcleo de estator 232, existem inúmeras fendas uniformemente dispostas 24 e dentes 236 em todas as direções. Nas figuras 5(a) e 5(b), nem todas as fendas e dentes foram indicados com referências numéricas, porém, apenas alguns dos dentes e fendas foram indicados com referências numéricas em nome do todo. Na fenda 24, um isolador de fenda (não mostrado) é proporcionado e uma pluralidade de fios de enrolamento de fase de fase u a fase w é encaixada. Na presente modalidade, o enrolamento distribuído é adotado como o método de enrolamento da bobina de estator 238.

O enrolamento distribuído é um método de enrolamento de um fio de bobina através do qual o fio é enrolado ao redor do núcleo de estator 232, de modo que o fio de enrolamento de fase seja acomodado nas duas fendas que são remotamente dispostas através de uma pluralidade de fen-

das 24 entre estas. Na presente modalidade, o enrolamento distribuído é adotado como o método de enrolamento de fio, de modo que a distribuição de fluxo magnético formada seja quase sinusoidal, com o resultado de que o torque de relutância pode ser facilmente obtido. Portanto, o controle da velocidade de rotação através de uma ampla faixa do número de rotações que varia de baixa velocidade rotação a alta velocidade de rotação pode ser obtido ao utilizar o controle de enfraquecimento de campo e torque de relutância. O enrolamento distribuído é adequado para obter características de motor adaptadas para veículos elétricos.

10 Cada um dos núcleos 301 e 302 o núcleo de rotor 252 é dotado de orifícios 310 em cada um dos quais um ímã retangular será inserido. Os ímãs permanentes 254 são introduzidos nos orifícios 310 e fixados a estes com um adesivo ou similar. As larguras dos orifícios 310 na direção circunferencial são ajustadas para serem maiores que as larguras dos ímãs permanentes 254 na direção circunferencial. Em ambos os lados dos ímãs permanentes 254 são formadas aberturas de ar magnéticas 257. As aberturas de ar magnéticas 257 podem ser preenchidas com o adesivo. De maneira alternativa, as aberturas de ar magnéticas 257 podem ser preenchidas com resinas de formação junto com os ímãs permanentes 254 que, então, serão integralmente fixados. Os ímãs permanentes 254 operam como polos de campo do rotor 250.

25 As direções de magnetização dos ímãs permanentes 254 são ajustadas ao longo da direção radial do núcleo de rotor 252 e invertidas em cada polo de campo. Ou seja, supõe-se que a superfície de um ímã permanente 254a no lado do estator seja um polo N e uma superfície do ímã permanente 254a no lado do eixo geométrico seja um polo S, uma superfície de um ímã permanente adjacente 254b no lado do estator seja um polo S e uma superfície do ímã permanente 254b no lado do eixo geométrico seja um polo N. Os ímãs permanentes 254a e 254b são alternadamente na direção circunferencial. Na presente modalidade, doze tais ímãs permanentes 254 são dispostos em intervalos regulares. Deste modo, o rotor 250 tem doze polos.

Os ímãs permanentes 254 podem ser incorporados no núcleo de rotor 252 após a magnetização ou ser inseridos no núcleo de rotor 252 antes da magnetização e, então, magnetizados ao aplicar a estes um forte campo magnético. Uma vez que os ímãs permanentes 254 após a magnetização são ímãs fortes, se os ímãs permanentes 254 forem magnetizados antes, eles são fixados ao rotor 250, forças atrativas fortes são geradas entre o núcleo de rotor 252 e os ímãs permanentes 254 quando os ímãs permanentes 254 forem fixados e as forças centrípetas resultantes evitam a operação para produzir o rotor. Além disso, poeira, tal como, pó de ferro pode aderir aos ímãs permanentes 254 devido às forças atrativas fortes. Portanto, o método no qual a magnetização será realizada após os ímãs permanentes 254 terem sido inseridos no núcleo de rotor 252 é mais produtivo que de outro modo.

Os ímãs permanentes 254 podem incluir ímãs sinterizados que contêm neodímio ou samário, ímãs de ferrita, ímãs de ligação que contêm neodímio, e assim por diante. Os ímãs permanentes 254 têm uma densidade de fluxo magnético residual de aproximadamente 0,4 a 1,3 T.

A figura 6(a) apresenta uma vista ampliada de uma parte da vista em seção transversal mostrada na figura 5(a). O núcleo 301 do núcleo de rotor 252 é dotado de sulcos que constituem as aberturas de ar magnéticas 258 em uma superfície do rotor 250 além das aberturas de ar magnéticas 257 formadas em ambos os lados dos ímãs permanentes 254. As aberturas de ar magnéticas 257 são proporcionadas para reduzir o torque de endentamento e as aberturas de ar magnéticas 258 são proporcionadas para reduzir as flutuações de torque quando a energia é aplicada. Supondo que, conforme observado a partir da periferia interna do rotor 250, um eixo geométrico central entre o ímã permanente 254a e um próximo ímã no lado esquerdo do ímã permanente 254a é chamado de eixo geométrico q a e um eixo geométrico central entre o ímã permanente 254b e um próximo ímã no lado esquerdo do ímã permanente 254b é chamado de eixo geométrico q b, uma abertura de ar magnética 258a é disposta desviada à direita em relação ao eixo geométrico q a e uma abertura de ar magnética 258b é disposta

desviada à esquerda em relação ao eixo geométrico q b. A abertura de ar magnética 258a e a abertura de ar magnética 2581 são dispostas simétricas em relação a um eixo geométrico d, que é um eixo geométrico central dos polos magnéticos.

5 Por outro lado, a figura 6(b) é uma vista ampliada de uma parte da vista em seção transversal mostrada na figura 5(b). O núcleo 302 do núcleo de rotor 252 é formado de aberturas de ar magnéticas 258c e 258d em vez das aberturas de ar magnéticas 258a e 258b. Conforme observado a partir da periferia interna do rotor 250, a abertura de ar magnética 258c é
10 disposta desviada à esquerda em relação ao eixo geométrico q a e a abertura de ar magnética 258d é disposta desviada à direita em relação ao eixo geométrico q b. A partir das figuras 5(a), 5(b), 6(a), e 6(b), pode-se observar que os formatos de seção transversal dos núcleos 301 e 302 são iguais exceto pelo fato de que as posições nas aberturas de ar magnéticas 258a e
15 258b e nas aberturas de ar magnéticas 258c e 258d são diferentes, respectivamente.

As aberturas de ar magnéticas 258a e 258d são dispostas em posições desviadas umas das outras em 180 graus no ângulo elétrico e as aberturas de ar magnéticas 258b e 258c são dispostas em posições desviadas umas das outras em 180 graus no ângulo elétrico. Ou seja, o núcleo 302
20 pode ser formado ao girar o núcleo 301 através de um passo dos polos magnéticos, Como um resultado, o núcleo 301 e o núcleo 302 podem ser produzidos usando o mesmo molde, de modo que seu custo de produção possa ser reduzido. As posições circunferenciais dos orifícios 310 dos núcleos 301 e 302 correspondem umas às outras sem qualquer desvio. Como
25 um resultado, o ímã permanente 254 encaixado em cada orifício 310 constitui um ímã integrado que penetra em cada dos núcleos 301 e 302 sem ser dividido na direção axial. Certamente, uma pluralidade de ímãs divididos 254 pode ser disposta empilhada na direção axial do orifício 310.

30 Quando um campo magnético giratório for gerado no estator 230 através da corrente alternada trifásica, o campo magnético giratório interage com os ímãs permanentes 254a e 254b do rotor 250 para gerar um torque

de ímã. O rotor 250 é afetado por um torque de relutância além do torque de ímã.

A figura 7 apresenta um diagrama que ilustra um torque de relutância. Geralmente, um eixo geométrico ao longo do qual o fluxo magnético passa através do centro de um ímã é chamado de um eixo geométrico d e um eixo geométrico ao longo do qual o fluxo magnético passa uma de posição interpolar para outra posição interpolar é chamado de um eixo geométrico q . A parte do núcleo que é presente no centro entre os polos do ímã é chamada de um elemento de polo saliente auxiliado 259. A permeabilidade do ímã permanente 254 proporcionado no rotor 250 é aproximadamente igual à do ar, de modo que quando observado a partir do lado do estator, o elemento de eixo geométrico d é magneticamente côncavo e o elemento de eixo geométrico q é magneticamente convexo. Portanto, a parte do núcleo na parte de eixo geométrico q é chamada de polo saliente. O torque de relutância é gerado por uma diferença na prontidão da transmissão de f fluxo magnético ao longo do eixo geométrico entre o eixo geométrico d e o eixo geométrico q , isto é, através de uma razão de polo saliente.

Conforme mencionado acima, a máquina elétrica rotativa na qual a presente modalidade é aplicada é aquela que utiliza tanto um torque de ímã como um torque de relutância de polo saliente auxiliado. Tanto o torque de ímã como o torque de relutância gera flutuações de torque. As flutuações de torque incluem um componente de flutuação que é gerado quando a energia não é aplicada e um componente de flutuação que é gerado quando a energia é aplicada. O componente de flutuação que é gerado quando a energia não é aplicada geralmente é chamado de torque de endentamento. Quando a máquina elétrica rotativa for realmente usada em um estado carregado, geram-se flutuações de torque combinadas que consistem no torque de endentamento e no componente de flutuação quando a energia é aplicada.

Os métodos mais convencionais para reduzir as flutuações de torque de tal máquina elétrica rotativa se referem a uma redução apenas no torque de endentamento, porém, não descrevem nada sobre uma redução

nas flutuações de torque que ocorrem quando a energia é aplicada. Entretanto, em muitos casos, os ruídos da máquina elétrica rotativa ocorrem não em um estado descarregado, porém, em um estado carregado. Ou seja, é importante reduzir as flutuações de torque em um estado carregado, a fim de
5 reduzir os ruídos da máquina elétrica rotativa. Qualquer contramedida que se refere apenas ao torque de endentamento é insuficiente.

Agora, o método para reduzir flutuações de torque, de acordo com a presente modalidade, será explicado.

Primeiro, a influência da abertura de ar magnética 258 quando a
10 energia não é aplicada. A figura 8(a) mostra um resultado de simulação da distribuição de fluxo magnético quando a corrente não flui na bobina de estator 238, ou seja, a distribuição de fluxo magnético através do ímã permanente 254. A figura 8(a) mostra dois polos, isto é, uma região 401 constituída pelo ímã permanente 254a e uma região 402 constituída pelo ímã permanente 254b. Ou seja, o resultado mencionado acima é um resultado da simulação da máquina elétrica rotativa em que a região 401 e a região 402 são
15 alternadamente dispostas na direção circunferencial, que mostra uma seção transversal A-A. Uma vez que a máquina elétrica rotativa, de acordo com a presente modalidade, inclui 12 polos, as regiões 401 e 402 cada um incluem
20 6 polos, que são alternadamente dispostos na direção circunferencial. Para cada polo, as aberturas de ar magnéticas 258a e 258b se encontram no elemento de polo saliente auxiliado 259 na região 401, porém, o elemento de polo saliente auxiliado 259 na região 402 não inclui nenhuma abertura de ar magnética 258.

25 Quando a energia é aplicada, o fluxo magnético através do ímã permanente 254 causa curto-circuito nas extremidades de ímã. Portanto, nenhum fluxo magnético passa ao longo do eixo geométrico q. Pode-se observar que substancialmente nenhum fluxo magnético passa através das porções das aberturas de ar magnéticas 258a e 258b proporcionadas nas
30 posições ligeiramente desviadas das aberturas de ar magnéticas 257 nas extremidades de ímã. O fluxo magnético que passa o núcleo de estator 232 passa uma parte do núcleo na lateral do estator no ímã permanente 254 pa-

ra alcançar os dentes 236. Como um resultado, as aberturas de ar magnéticas 258a e 258b não fornecem substancialmente nenhuma influência no fluxo magnético quando a energia não é aplicada que se refere ao torque de endentamento. A partir disto, conclui-se que as aberturas de ar magnéticas 258a e 258b não fornecem influência no torque de endentamento.

A figura 8(b) mostra o resultado da simulação apenas na região 401 e a figura 8(e) mostra o resultado da simulação apenas na região 402. A figura 8(b) mostra uma máquina elétrica rotativa que inclui doze polos que consistem apenas na região 401 disposta na direção circunferencial e é construída de modo que uma direção de magnetização do ímã permanente 254 de cada polo seja invertida polo a polo. A figura 8(c) mostra uma máquina elétrica rotativa que inclui doze polos que consistem apenas na região 402 disposta na direção circunferencial e é construída de modo que a direção de magnetização do ímã permanente 254 de cada polo seja invertida polo a polo. As figuras 8(b) e 8(c) mostram a distribuição de fluxo magnético similar para aquela mostrada na figura, 8(a), com nenhum fluxo magnético passando ao longo do eixo geométrico q.

A figura 9(a) mostra a forma de onda do torque de endentamento. A figura (9b) mostra uma forma de onda da voltagem de linha induzida que ocorre na lateral do estator quando o rotor 250 gira. O eixo geométrico horizontal mostra o ângulo de rotação do rotor no ângulo elétrico. A linha L11 mostra o caso do rotor mostrado na figura 8(a) em que a região 401 tem as aberturas de ar magnéticas 258 e a região 402 não tem a abertura de ar magnética 258 são alternadamente dispostas. A linha 12 mostra a máquina elétrica rotativa mostrada na figura 8(b) em que apenas a região 401 que tem as aberturas de ar magnéticas 258 é disposta. A linha 13 mostra o caso da máquina elétrica rotativa mostrado na figura 8(c) em que apenas a região 402 que não tem a abertura de ar magnética 258 é disposta. O resultado mostrado na figura 9(a) indica que a presença ou ausência das aberturas de ar magnéticas 258 fornece substancialmente nenhuma influência no torque de endentamento.

A voltagem induzida é uma voltagem gerada quando o fluxo

magnético do rotor giratório 250 forma a ligação de fluxo com a bobina de estator 238. Conforme mostrado na figura 9(b), entende-se que a forma de onda de tensão induzida não é influenciada pela presença ou ausência das aberturas de ar magnéticas 258. A tensão induzida indica a reflexão do fluxo magnético de um ímã no resultado de simulações mostrado nas figuras 8(a), 8(b), e 8(c). Esta tensão induzida que não é alterada significa que as aberturas de ar magnéticas 258 fornecem substancialmente nenhuma influência no fluxo magnético do ímã.

Agora, as influências da abertura de ar magnética 258 quando a energia é aplicada serão explicadas. As figuras 10(a), 10(b), e 10(c) mostram o resultado da simulação de distribuição de fluxo magnético quando a energia é aplicada à bobina de estator 238. A figura 10(a) mostra o resultado da simulação na máquina elétrica rotativa similar aquele mostrado na figura 8(a). A figura 10(b) mostra o resultado da simulação na máquina elétrica rotativa similar aquele mostrado na figura 8(b). A figura 10(c) mostra o resultado da simulação na máquina elétrica rotativa similar aquele mostrado na figura 8(c). A máquina elétrica rotativa, de acordo com a presente modalidade, é um motor que inclui 6 fendas por polo. Uma bobina 233 da bobina de estator 238 proporcionada na fenda 24 da bobina de estator 232 é ramificada em duas camadas na direção da profundidade da fenda. A bobina 233 disposta no lado inferior da fenda é um enrolamento de passo curto que é inserido no lado do rotor da fenda 24 que pula mais de seis fendas que consistem na primeira a quinta fendas, supondo que a próxima fenda seja adotada como a primeira fenda. O enrolamento de passo classificado é apresentado pelo fato de que este pode reduzir o componente harmônico na força magnetomotriz do estator, encurtando a extremidade de bobina e reduzindo a perda de cobre. O enrolamento para reduzir o componente harmônico pode minimizar flutuações de torque de sexta ordem específicas aos motores trifásicos e substancialmente apenas quase dozes componentes permanecem.

Referindo-se às figuras 10(a), 10(b) e 10(c), o fluxo magnético flui ao longo do eixo geométrico q em quaisquer resultados de simulação.

Isto ocorre porque a corrente no estator 230 forma um fluxo magnético no eixo geométrico q . Comparando as figuras 10(a) e 10(b) com a figura 10(c) em que nenhuma abertura de ar magnética 258 está presente, pode-se observar que nas figuras 10(a) e 10(b), a abertura de ar magnética 258 altera o
5 fluxo do fluxo magnético do elemento de polo saliente auxiliado 259. Portanto, a abertura de ar magnética 258 que é presente no elemento de polo saliente auxiliado 259 fornece influências magnéticas apenas quando a energia é aplicada.

A figura 11(a) mostra a forma de onda de torque quando a energia é aplicada e a figura 11(b) mostra a forma de onda da voltagem de linha
10 quando a energia é aplicada. O eixo geométrico horizontal indica o ângulo de rotação do rotor no ângulo elétrico. A linha L21 indica a facilidade do rotor mostrado na figura 10(a) em que a região 401 que tem as aberturas de ar magnéticas 258 e a região 402 que não tem a abertura de ar magnética 258
15 são alternadamente dispostas. A linha 22 mostra a máquina elétrica rotativa mostrada na figura 10(b) em que apenas a região 401 que tem as aberturas de ar magnéticas 258 é disposta. A linha 23 mostra o caso da máquina elétrica rotativa mostrada na figura 10(c) em que apenas a região 402 que não tem abertura de ar magnética 258 é disposta.

A figura 11(a) indica que na máquina elétrica rotativa, de acordo com a presente modalidade, o componente de flutuação de torque da décima segunda ordem, isto é, o componente do período de 30 graus no ângulo elétrico é dominante, porém, componente de sexta ordem é quase nulo. Tanto L21 como L22 tem formas de ondas alteradas das flutuações de torque
25 quando comparadas com as flutuações de torque L23, no caso em que a abertura de ar magnética 258 não é formada, ou seja, apenas a região 402 é presente. Isto indica que o fluxo magnético quando a energia é aplicada é influenciado pela abertura de ar magnética 258. Ademais, as flutuações de torque L22 da máquina elétrica rotativa que incluem apenas a região 401 e
30 as flutuações de torque L23 da máquina elétrica rotativa que incluem apenas a região 402 são aproximadamente opostas em fase umas às outras. Conforme mostrado na figura 10(a), a máquina elétrica rotativa, de acordo com a

presente modalidade, tem uma construção em que a região 401 e a região 402 são alternadamente dispostas e, conforme indicado pelas flutuações de torque L21, a soma das flutuações de torque que é recebida pelo rotor no todo é um valor médio das flutuações de torque L22 e das flutuações de torque L23.

Conforme mencionado acima, na presente modalidade, o fornecimento das aberturas de ar magnéticas 258a e 258b permite a redução das flutuações de torque quando a energia é aplicada. Para obter tal efeito, é preferível que os ângulo de largura (ângulos na direção circunferencial) dos sulcos que constituem as aberturas de ar magnéticas 258 sejam ajustados dentro da faixa de $1/4$ a $1/2$ do ângulo de passo dos dentes 236. Dois ou mais tipos das aberturas de ar magnéticas 258 podem ser usados para formar o elemento de polo saliente auxiliado 259. Deste modo, este se torna mais livre para reduzir as flutuações de torque, de modo que a redução das flutuações possa ser realizada de maneira mais precisa.

Um recurso adicional consiste no fato de que o torque não é reduzido mais que o caso em que nenhuma abertura de ar magnética é proporcionada. No caso da estrutura chamada "inclinada" convencionalmente adotada para reduzir as flutuações de torque, a inclinação resulta em uma redução no torque, que evita a redução de tamanho. Entretanto, a presente modalidade apresenta que não apenas é possível reduzir as flutuações de torque quando a energia é aplicada de maneira independente do torque de endentamento, mas, também, o próprio torque não é reduzido. Isto ocorre porque as flutuações de torque no caso do rotor predominantemente menor de sulco original incluem o componente de décima segunda ordem. É eficaz que a bobina de estator seja formada de um enrolamento de passo curto.

Também, pode-se observar que a voltagem quando a energia é aplicada é influenciada pela presença ou ausência da abertura de ar magnética 258, conforme mostrado na figura 11(b). Neste caso, ocorre uma diferença potencial entre o enrolamento de cada fase da bobina de estator 238 que faz face com o rotor 250 na região 401 e o enrolamento de cada fase da bobina de estator 238 que faz face com o rotor 250 na região 402, de modo

que quando os enrolamentos separados para cada fase forem conectados em paralelo, a corrente de circulação flua para aumentar a perda. Conforme mostrado na figura 6, a máquina elétrica rotativa, de acordo com a presente modalidade, tem o núcleo 302 formado ao girar o núcleo 301 em um passo do polo magnético e os comprimentos axiais dos núcleos 301 e 302 são ajustados substancialmente iguais, conforme mostrado na figura 4(b). Como um resultado, a voltagem que ocorre no enrolamento de cada fase da bobina de estator 238 que faz face com cada polo pode ser substancialmente igual, de modo que substancialmente nenhuma corrente de circulação flua. Entretanto, quando os enrolamentos das respectivas fases da bobina de estator 238 que fazem face com o rotor 250 nas regiões 401 e 402 forem conectados uns aos outros em série, substancialmente nenhuma corrente de circulação flui, de modo que uma construção apenas com o núcleo 301 ou 302 também possa ser adotada.

Conforme mencionado acima, se as aberturas de ar magnéticas 258a e 258b forem formadas, isto não fornece qualquer influência no torque de endentamento quando a energia é aplicada. Portanto, o torque de endentamento pode ser separadamente reduzido a partir da redução das flutuações de torque quando a energia é aplicada, ao aplicar um método para reduzir o torque de endentamento conforme convencionalmente usado. Na presente modalidade, a redução de torque de endentamento é obtida ao adotar a seguinte construção.

As figuras 12 e 13 apresentam diagramas que ilustram o método para reduzir os torques de endentamento. A figura 12 apresenta uma vista em seção transversal que mostra o rotor 250 e uma parte do núcleo de estator 232. Na figura 12, τ_p indica o passo de polo do ímã permanente 254 e τ_g indica o ângulo de largura do ímã permanente 254. Por outro lado, τ_g indica um ângulo para o ímã permanente 254 e as aberturas de ar magnéticas 257 em ambos os lados destas, isto é, um ângulo de largura do orifício 310 mostrado na figura 4. Ao ajustar as razões destes ângulos τ_m/τ_p e τ_g/τ_p , os torques de endentamento podem ser reduzidos. Na presente modalidade, τ_m/τ_p é chamado de radiano de polo magnético e τ_g/τ_p é chamado de radi-

ano de polo de orifício magnético.

A figura, 13 apresenta um diagrama que mostra a relação entre a razão entre τ_m/τ_p e o torque de endentamento. O resultado mostrado na figura 13 se refere ao caso em que $\tau_m=\tau_g$ e o ímã permanente 254 e a abertura de ar magnética 257 se encontram sob a forma de arco concêntrico à periferia externa do rotor 250. No caso em que os ímãs retangulares são usados na presente modalidade, os valores ótimos são um, pouco variados. Entretanto, não é necessário dizer que a mesma ideia é usada. Na figura 13, o eixo geométrico horizontal indica a amplitude de torque de endentamento e o eixo geométrico horizontal indica o ângulo de rotação do rotor 250 no ângulo elétrico. A magnitude da amplitude de flutuações varia dependendo da magnitude da razão τ_m/τ_p . Quando $\tau_m=\tau_g$, selecionando τ_m/τ_p em cerca de 0,75, o torque de endentamento pode ser reduzido. A tendência que o torque de endentamento não é alterado pelas aberturas de ar magnéticas 258 mostradas na figura 9(a) torna possível aplicar a razão da largura de ímã ao passo de polo $\tau_m=\tau_p$, de maneira similar. Como um resultado, ao projetar o formato do rotor 250 conforme mostrado na figura 5 sob as condições mencionadas acima, tanto o torque de endentamento como as flutuações de torque quando a energia é aplicada pode ser reduzido.

No exemplo mostrado na figura 13, a explicação é feita supondo que $\tau_m=\tau_g$. Entretanto, para utilizar eficientemente o torque de relutância que é um efeito do elemento de polo saliente auxiliado 259, o radiano de polo de orifício magnético τ_g/τ_p pode ser vantajosamente ajustado em cerca de 0,5 a cerca de 0,9, de preferência, cerca de 0,7 a cerca de 0,8.

A figura 14 é um exemplo de cálculo de torque máximo quando o radiano de polo magnético τ_m/τ_p e o radiano de polo de orifício magnético τ_g/τ_p forem variados. De maneira similar à figura 13, o ímã permanente 254 e a abertura de ar magnética 257 se encontram sob a forma de um setor concêntrico à periferia externa do rotor 250. O eixo geométrico horizontal indica o radiano de polo de orifício magnético τ_g/τ_p . Este valor 0,7 indica que a razão entre o elemento de polo saliente auxiliado 259 e o passo interpolar é 0,3. Aqui, a largura de ímã τ_m não pode ser maior que o ângulo de abertu-

ra τ_m do ímã orifício e, portanto, obtém-se: $\tau_g \geq \tau_m$. Um aumento em τ_m resulta em um aumento na largura do ímã permanente 254, de modo que o torque aumente de maneira correspondente. Por outro lado, quando τ_m for constante, τ_g tem um valor ótimo; quando τ_g/τ_p for cerca de 0,7 a cerca de 5 0,8, o torque máximo é maior. Isto ocorre porque o tamanho do elemento de polo saliente auxiliado 259 tem um valor apropriado e se τ_g for muito grande ou muito pequeno conforme comparado com aquele valor, o torque de relutância se torna muito pequeno. Quando τ_m for maior que 0,75, $\tau_m = \tau_g$ é desejável, de modo que o elemento de polo saliente auxiliado 259 possa ser 10 tão grande quando possível.

Conforme mencionado acima, o torque de relutância pode ser mais eficientemente utilizado quando τ_g/τ_p for ajustado em cerca de 0,7 a cerca de 0,8 e o ímã permanente 254 pode ser menor. Quando um ímã sinterizado de terra rara for usado como o ímã permanente 254, requer-se usar 15 uma quantidade mais eficiente de ímã, uma vez que tal ímã é muito dispendioso quando comparado com outros materiais. Uma vez que o ímã permanente 254 é reduzido em tamanho, a voltagem induzida pelo fluxo magnético do ímã permanente 254 pode ser reduzida, de modo que a máquina elétrica rotativa possa ser girada em velocidades mais altas. Portanto, a máquina 20 elétrica rotativa que utiliza o torque de relutância como na presente modalidade é geralmente usada nos veículos elétricos.

SEGUNDA MODALIDADE

As figuras 15(a) e 15(b) mostram um rotor, de acordo com outra modalidade da presente invenção. A presente modalidade é igual à primeira 25 modalidade exceto o que será explicado daqui por diante.

A figura 15(a) mostra um rotor do tipo ímã de superfície e a figura 15(b) mostra um rotor em que uma pluralidade de ímãs é disposta em um formato de V. Em cada tipo do rotor, o elemento de polo saliente auxiliado 259 fica entre quaisquer dois ímãs permanentes adjacentes 254 e a abertura 30 de ar magnética 258 é disposta no elemento de polo saliente auxiliado 259. Conforme observado a partir da periferia interna do rotor 250, um eixo geométrico central entre o ímã permanente 254a e um próximo ímã no lado es-

querdo do ímã permanente 254a é chamado de eixo geométrico q a e um eixo geométrico central entre o ímã permanente 254b e um próximo ímã no lado esquerdo do ímã permanente 254b é chamado de eixo geométrico q b, a abertura de ar magnética 258a é disposta desviada à direita em relação ao eixo geométrico q a e a abertura de ar magnética 258b é disposta desviada à esquerda em relação ao eixo geométrico q b. A abertura de ar magnética 258a e a abertura de ar magnética 258b são dispostas simétricas em relação a um eixo geométrico d, que é um eixo geométrico central do polo magnético. As figuras 15(a) e 15(b) mostram seções transversais A-A do rotor. De maneira similar à modalidade mencionada acima, a seção transversal B-B tem um formato formado ao girar o formato da seção transversal A-A em um passo do polo magnético. Conforme explicado acima com referência às figuras 8(a), 8(b) e 8(c), a redução das flutuações de torque na presente modalidade não é afetada pelo fluxo magnético do ímã, de modo que esta não dependa do formato do ímã.

TERCEIRA MODALIDADE

A figura 16 ilustra a realização da redução de flutuações de torque ao proporcionar duas aberturas de ar magnéticas 258 para cada elemento de polo saliente auxiliado 259, de acordo com a presente modalidade. Este formato é da seguinte maneira. Conforme observado a partir da periferia interna do rotor 250, um eixo geométrico central entre o ímã permanente 254a e um próximo ímã no lado esquerdo do ímã permanente 254a é chamado de eixo geométrico q a e um eixo geométrico central entre o ímã permanente 254b e um próximo ímã no lado esquerdo do ímã permanente 254b é chamado de eixo geométrico q b, a abertura de ar magnética 258a no lado direito em relação ao eixo geométrico q a é maior e a abertura de ar magnética 258e no lado esquerdo em relação ao eixo geométrico q b é menor. A abertura de ar magnética 258b no lado direito em relação ao eixo geométrico q b é maior e a abertura de ar magnética 258f no lado esquerdo em relação ao eixo geométrico q b é menor. As aberturas de ar magnéticas 258a e 258b e as aberturas de ar magnéticas 258e e 258f são dispostas simétricas em relação a um eixo geométrico d, que é um eixo geométrico cen-

tral do polo magnético, a figura 16 mostra uma seção transversal A-A do rotor. De maneira similar à modalidade mencionada acima, a seção transversal B-B tem um formato formado ao girar o formato da seção transversal A-A em um passo do polo magnético. Outros detalhes além dos mencionados acima são iguais à primeira modalidade.

QUARTA MODALIDADE

Nos exemplos mostrados nas figuras 5(a), 5(b), 15(a), 15(b) e 16, a abertura de ar magnética 258 é constituído por um sulco proporcionado em uma periferia externa do rotor 250. Entretanto, a abertura de ar magnética 258 pode ser constituída por um orifício no elemento de polo saliente auxiliado 259, conforme mostrado na figura 17(a). A abertura de ar magnética 257 e a abertura de ar magnética 258 podem ser integradas, conforme mostrado na figura 17(b). A abertura de ar magnética 258 pode ser atingida ao dotar o elemento de polo saliente auxiliado 259 de uma região que tem uma permeabilidade diferente do restante, conforme mostrado na figura 17(c). Na figura 17(c), a permeabilidade do elemento de polo saliente auxiliado 259a é ajustada para ser menor que a do elemento de polo saliente auxiliado 259b. Outros detalhes além dos mencionados acima são iguais à primeira modalidade.

QUINTA MODALIDADE

A figura, 18 ilustra o caso em que a bobina de estator 238 mostrada na figuras 5(a) e 5(b) é feita do tipo de enrolamento concentrado. As flutuações de torque na presente modalidade dependem do formato do rotor 250 e, portanto, as flutuações de torque podem ser reduzidas no caso do tipo de enrolamento concentrado, que é um método de enrolamento diferente no lado do estator, de maneira similar aquele descrito acima. Outros detalhes além dos mencionados acima são iguais à primeira modalidade.

SEXTA MODALIDADE

A figura 19(a) apresenta uma vista em perspectiva que mostra o núcleo de rotor 252 do rotor 250, de acordo com outra modalidade da presente invenção. Outros detalhes além dos mencionados acima são iguais à primeira modalidade.

O núcleo de rotor 252 inclui dois núcleos 301 e 302, conforme mostrado na figura 19(b). O comprimento H2 do núcleo 302 na direção axial é ajustado para ser aproximadamente igual ao comprimento H1 do núcleo 301 na direção axial. As figuras 20(a) e 20(b) apresentam uma vista em seção transversal do estator 230 e do rotor 250. A figura 20(a) apresenta uma vista em seção transversal A-A que passa uma parte do núcleo 301 (vide figura 3), e a figura 20(b) apresenta uma vista em seção transversal B-B que passa uma parte do núcleo 302 (vide figura 3). Nas figuras 20(a) e 20(b), a descrição do alojamento 212, do eixo 218 e da bobina de estator 238 é omitida.

No lado da periferia interna do núcleo de estator 232, dispõem-se de maneira uniforme inúmeras fendas 24 e dentes 236 em todas as direções. Na figura 20, nem todas as fendas e dentes são indicadas com referências numéricas, porém, apenas alguns dos dentes e fendas são indicados com referências numéricas em nome do todo. Na fenda 24, um isolador de fenda (não mostrado) é proporcionado e uma pluralidade de fios de enrolamento de fase da fase u a fase w é encaixada. Na presente modalidade, o enrolamento distribuído é adotado como o método de enrolamento da bobina de estator 238.

Cada um dos núcleos 301 e 302 do núcleo de rotor 252 é dotado de orifícios 310 em cada um dos quais um ímã retangular será inserido. Os ímãs permanentes 254 são introduzidos nos orifícios 310 e fixados a este com um adesivo ou similar. As larguras dos orifícios 310 na direção circunferencial são ajustadas para serem maiores que as larguras dos ímãs permanentes 254 na direção circunferencial. Em ambos os lados dos ímãs permanentes 254 são formadas aberturas de ar magnéticas 257. As aberturas de ar magnéticas 257 podem ser preenchidas com o adesivo. De maneira alternativa, as aberturas de ar magnéticas 257 podem ser preenchidas com resinas de formação junto com os ímãs permanentes 254 que, então, serão integralmente fixados. Os ímãs permanentes 254 operam como um polo de campo do rotor 250.

As direções de magnetização dos ímãs permanentes 254 são

ajustadas ao longo da direção radial do núcleo de rotor 252 e invertidas em cada polo de campo. Ou seja, supondo que a superfície de um ímã permanente 254a no lado do estator seja um polo N e uma superfície do ímã permanente 254a no lado do eixo geométrico seja um polo S, uma superfície de um ímã permanente adjacente 254b no lado do estator é um polo S e uma superfície do ímã permanente 254b no lado do eixo geométrico é um polo N. Os ímãs permanentes 254a e 254b são alternadamente dispostos na direção circunferencial. Na presente modalidade, doze dos tais ímãs permanentes 254 são dispostos em intervalos regulares. Deste modo, o rotor 250 tem doze polos.

A figura 21(a) apresenta uma vista ampliada de uma parte da vista em seção transversal mostrada na figura 20(a). O núcleo 301 do núcleo de rotor 252 é dotado de sulcos que constituem aberturas de ar magnéticas 258 em uma superfície do rotor 250 além das aberturas de ar magnéticas 257 formadas em ambos os lados dos ímãs permanentes 254. As aberturas de ar magnéticas 257 são proporcionadas para reduzir o torque de endentamento e as aberturas de ar magnéticas 258 são proporcionadas para reduzir as flutuações de torque quando a energia é aplicada. Supondo que, conforme observado a partir da periferia interna do rotor 250, um eixo geométrico central entre o ímã permanente 254a e um próximo ímã no lado esquerdo do ímã permanente 254a seja chamado de eixo geométrico q a e um eixo geométrico central entre o ímã permanente 254b e um próximo ímã no lado esquerdo do ímã permanente 254b seja chamado de eixo geométrico q b, uma abertura de ar magnética 258a é disposta desviada à direita em relação ao eixo geométrico q a e uma abertura de ar magnética 258b é disposta desviada à esquerda em relação ao eixo geométrico q b. Não se proporcionou nenhuma abertura de ar magnética em ambos os lados do eixo geométrico q b. A abertura de ar magnética 258a e a abertura de ar magnética 258b são dispostas simétricas em relação a um eixo geométrico d, que é um eixo geométrico central dos polos magnéticos,

Por outro lado, a figura 21(b) é uma vista ampliada de uma parte da vista em seção transversal mostrada na figura 20(b). No caso do núcleo

302 do núcleo de rotor 252, as aberturas de ar magnéticas 258c e 258d são formadas em vez das aberturas de ar magnéticas 258a e 258b. Conforme observado a partir da periferia interna do rotor 250, a abertura de ar magnética 258c é disposta desviada à esquerda em relação ao eixo geométrico q a e a abertura de ar magnética 258d é disposta desviada à direita em relação ao eixo geométrico q b. Não existe nenhuma de ar magnética em ambos os lados do eixo geométrico q a. A partir das figuras 20(a), 20(b), 21(a), e 21(b), pode-se observar que os formatos de seção transversal dos núcleos 301 e 302 são iguais exceto pelo fato de que as aberturas de ar magnéticas 258a e 258b e as aberturas de ar magnéticas 258c e 258d são diferentes, respectivamente.

As aberturas de ar magnéticas 258a e 258d são dispostas em posições desviadas umas das outras em 180 graus no ângulo elétrico e as aberturas de ar magnéticas 258b e 258c são dispostas nas posições desviadas umas das outras em 180 graus no ângulo elétrico. Ou seja, o núcleo 302 pode ser formado ao girar o núcleo 301 em um passo dos polos magnéticos. Como um resultado, o núcleo 301 e o núcleo 302 podem ser produzidos usando o mesmo molde, de modo que seu custo de produção possa ser reduzido. As posições circunferenciais dos orifícios 310 dos núcleos 301 e 302 correspondem umas às outras sem qualquer desvio. Como um resultado, o ímã permanente 254 encaixado em cada orifício 310 constitui um ímã integrado que penetra cada um dos núcleos 301 e 302 sem ser dividido na direção axial. Certamente, uma pluralidade de ímãs divididos 254 pode ser disposto empilhado na direção axial do orifício 310.

A máquina elétrica rotativa mostrada na figura 21(a) tem uma construção de modo que uma região 403 e uma região 404 seja alternadamente dispostas. A região 403 na figura 21(a) é equivalente à região 401 na figura 8(a) e a região 404 na figura 21(a) é equivalente à região 402 na figura 8(a). A máquina elétrica rotativa, de acordo com a presente modalidade mostrada na figura 21(a), pode ser elétrica e magneticamente equivalente à máquina elétrica rotativa, de acordo com a modalidade mostrada na figura 6(a), embora as posições nas quais as aberturas de ar magnéticas 258 se-

jam diferentes entre as modalidades. Ou seja, também na presente modalidade, as flutuações de torque diferentes ocorrem entre as regiões 403 e 404 e elas atuam para se cancelarem, de modo que as flutuações de torque possam ser reduzidas. De maneira similar à primeira modalidade, a abertura de ar magnética 258 é formada no elemento de polo saliente auxiliado 259, esta
5 fornece substancialmente nenhuma influência no torque de endentamento. Ou seja, ao proporcionar a abertura de ar magnética 258, a influência do torque de endentamento na flutuação de torque pode ser suprimida e as flutuações de torque quando a energia é aplicada podem ser reduzidas de maneira substancialmente independente do torque de endentamento.
10

Conforme mostrado nas figuras 21(a) e 21(b), a máquina elétrica rotativa, de acordo com a presente modalidade, inclui o núcleo 302 formado ao girar o núcleo 301 em um passo do polo magnético e os comprimentos axiais dos núcleos 301 e 302 são ajustados substancialmente iguais, conforme mostrado na figura 19(b), de modo que as voltagens geradas nos respectivos enrolamentos de fase da bobina de estator 238 que fazem face com cada polo possam ser feitos aproximadamente iguais uns aos outros. Como um resultado, substancialmente nenhuma corrente de circulação flui. Entretanto, substancialmente nenhuma corrente de circulação flui quando os enrolamentos das respectivas fases da bobina de estator 238 que fazem face com o rotor 250 nas regiões 403 e 404 são conectados uns aos outros em série. Conseqüentemente, não é nenhum problema usar apenas o núcleo 301 ou apenas o núcleo 302.
15
20

SÉTIMA MODALIDADE

25 As figuras 22(a) e 22(b) mostram um rotor, de acordo com outra modalidade da presente invenção. Outros detalhes além dos mencionados acima são iguais às modalidades mencionadas acima.

A figura 22(a) mostra um rotor do tipo ímã de superfície e a figura 22(b) mostra um rotor do tipo em que uma pluralidade de ímãs é disposta em um formato de V. Em cada tipo do rotor, o elemento de polo saliente auxiliado 259 se encontra entre quaisquer dois ímãs permanentes adjacentes 254 e a abertura de ar magnética 258 é disposta no elemento de polo salien-
30

te auxiliado 259. Supondo que, conforme observado a partir da periferia interna do rotor 250, um eixo geométrico central entre o ímã permanente 254a e um próximo ímã no lado esquerdo do ímã permanente 254a seja chamado de eixo geométrico q a e um eixo geométrico central entre o ímã permanente 254b e um próximo ímã no lado esquerdo do ímã permanente 254b seja chamado de eixo geométrico q b, a abertura de ar magnética 258a é disposta desviada à direita em relação ao eixo geométrico q a e a abertura de ar magnética 258b é disposta desviada à esquerda em relação ao eixo geométrico q b. Não existe nenhuma abertura de ar magnética em ambos os lados do eixo geométrico q b. A abertura de ar magnética 258a e a abertura de ar magnética 258b são dispostas simétricas em relação a um eixo geométrico d, que é eixo geométrico central do polo magnético. As figuras 22(a) e 22(b) mostram as seções transversais A-A do rotor. De maneira similar à modalidade mencionada acima, a seção transversal B-B tem um formato formado ao girar o formato da seção transversal A-A em um passo do polo magnético. Conforme explicado acima com referência às figuras 8(a), 8(b) e 8(e), a redução das flutuações de torque na presente modalidade não é afetada pelo fluxo magnético do ímã, de modo que esta não dependa do formato do ímã.

20 A figura 23 ilustra a realização da redução de flutuações de torque ao proporcionar duas aberturas de ar magnéticas 258 para cada elemento de polo saliente auxiliado 259, de acordo com a presente modalidade. Este formato é da seguinte maneira. Supondo que, conforme observado a partir da periferia interna do rotor 250, um eixo geométrico central entre o ímã permanente 254a e um próximo ímã no lado esquerdo do ímã permanente 254a seja chamado de eixo geométrico q a e um eixo geométrico central entre o ímã permanente 254b e um próximo ímã no lado esquerdo do ímã permanente 254b seja chamado de eixo geométrico q b, a abertura de ar magnética 258a no lado direito em relação ao eixo geométrico q a é maior e a abertura de ar magnética 258e no lado esquerdo em relação ao eixo geométrico q b é menor. A abertura de ar magnética 258b no lado direito em relação ao eixo geométrico q b é maior e a abertura de ar magnética 258f no

lado esquerdo em relação ao eixo geométrico q b é menor. As aberturas de ar magnéticas 258a e 258b e as aberturas de ar magnéticas 258e e 258f são dispostas simétricas em relação a um eixo geométrico d , que é um eixo geométrico central do polo magnético. A figura 23 mostra uma seção transversal A-A do rotor. De maneira similar à modalidade mencionada acima, a seção transversal B-B tem um formato formado ao girar o formato da seção transversal A-A em um passo do polo magnético.

OITAVA MODALIDADE

Nos exemplos mostrados nas figuras 20(a), 20(b), 22(a), 22(b) e 23, a abertura de ar magnética 258 é constituída por um sulco proporcionado em uma periferia externa do rotor 250. Entretanto, a abertura de ar magnética 258 pode ser constituída por um orifício no elemento de polo saliente auxiliado 259, conforme mostrado na figura 24(a). A abertura de ar magnética 257 e a abertura de ar magnética 258 pode ser integrada, conforme mostrado na figura 24(b). A abertura de ar magnética 258 pode ser obtida ao dotar o elemento de polo saliente auxiliado 259 de uma região que tem uma permeabilidade diferente do restante, conforme mostrado na figura 24(c). Na figura 24(c), a permeabilidade do elemento de polo saliente auxiliado 259a é ajustada para ser menor que a do elemento de polo saliente auxiliado 259b.

NONA MODALIDADE

A figura 25 ilustra o caso em que a bobina de estator 238 mostrada na figura 20 é feita do tipo de enrolamento concentrado. As flutuações de torque na presente modalidade dependem do formato do rotor 250 e, portanto, as flutuações de torque podem ser reduzidas no caso do tipo de enrolamento concentrado, que é um método de enrolamento diferente no lado do estator, de maneira similar aquele descrito acima.

Diversas modalidades mencionadas acima têm os seguintes efeitos vantajosos.

(1) As aberturas de ar magnéticas 258a e 258b são proporcionadas no elemento de polo saliente auxiliado 259 e as aberturas de ar magnéticas 258a e 258b são dispostas desviadas para cada elemento de polo saliente auxiliado 259 de modo que as flutuações de torque quando a ener-

gia é aplicada gerada pelas aberturas de ar magnéticas 258a e 258b cancelam umas às outras. Como um resultado, as flutuações de torque da máquina elétrica rotativa quando a energia é aplicada podem ser reduzidas. Em particular, quando a máquina elétrica rotativa, de acordo com uma das modalidades que pode reduzir as flutuações de torque quando a energia é aplicada for empregada em um motor para acionar um veículo, tal como, um veículo elétrico ou similar, as vibrações e ruídos quando acelera em baixas velocidades pode ser reduzidos, de modo que um veículo elétrico que proporciona qualidade de percurso confortável e é altamente silencioso possa ser proporcionado.

(2) Quando a energia não é aplicada, a abertura de ar magnética 258 não fornece substancialmente nenhuma influência no fluxo magnético do ímã. Consequentemente, uma contramedida para reduzir o torque de endentamento devido ao fluxo magnético do ímã permanente 254 e uma contramedida para reduzir as flutuações de torque quando a energia é aplicada podem ser realizadas de maneira separada independente umas das outras. Como um resultado, a otimização do torque de ímã, de modo que o torque de endentamento seja pequeno e o torque quando a energia é aplicada seja grande e uma redução nas flutuações de torque quando a energia é aplicada possam ser concomitantemente obtidos. De maneira convencional, um ímã é configurado de modo que o torque máximo possa ser obtido e, então, a inclinação ou similar seja aplicada a fim de reduzir o torque de endentamento. Isto tem um defeito em que o torque (torque de ímã) se torna pequeno. Nas modalidades da presente invenção, entretanto, a redução no torque que acompanha a redução nas flutuações de torque pode ser evitada.

(3) Conforme mencionado acima, a redução no torque de ímã que acompanha a redução nas flutuações de torque pode ser evitada, de modo que o ímã possa ser feito tão pequeno quanto possível e a redução no tamanho e redução de custo da máquina elétrica rotativa possa ser obtido.

(4) Uma vez que as flutuações de torque quando a energia é aplicada são reduzidas ao desviar as posições das aberturas de ar magnéticas 258a e 258b proporcionadas no elemento de polo saliente auxiliado 259,

é desnecessário dividir o ímã permanente 254 em uma pluralidade de peças na direção axial ou inclinar a magnetização diferente das estruturas inclinadas convencionais. O ímã permanente 254 inclui um ímã de terra rara, tipicamente, um ímã de neodímio. Os ímãs de terra rara são conformados por polimento, o aprimoramento da precisão do erro de produção leva diretamente a um aumento no custo. Portanto, as presentes modalidades em que é desnecessário dividir o ímã na direção axial permitem a redução de custo da máquina elétrica rotativa. Além disso, não existe preocupação de um aumento na flutuação do desempenho ou uma redução no rendimento devido às tolerâncias cumulativas dos ímãs. Conforme mencionado acima, de acordo com as modalidades da presente invenção, um aumento na produtividade e uma redução no custo de produção da máquina elétrica rotativa podem ser obtidos.

De acordo com as modalidades mencionadas acima, é possível atingir uma redução no torque de endentamento e uma redução nas flutuações de torque quando a energia é aplicada. A redução nas flutuações de torque pode ser atingida ao fazer a quantidade de desvio da região em que a magneto-resistência foi variada diferir para cada elemento de polo saliente magneticamente auxiliado de modo que as flutuações de torque quando a energia é aplicada devido à região em que a magneto-resistência foi variada cancelem umas às outras.

Nas modalidades mencionadas acima, o motor para acionar um veículo foi explicado como um exemplo. Entretanto, a presente invenção não se limita a motores para acionar veículos, mas, também, a diversos motores. Além disso, a presente invenção não se limita a motores e pode ser aplicada a diversos tipos de máquinas elétricas rotativas, por exemplo, geradores, tais como, alternadores. Desde que os recursos da presente invenção não sejam danificados, a presente invenção não se limita às modalidades mencionadas acima.

A descrição do seguinte pedido de prioridade é incorporado a título de referência no presente documento: pedido de patente japonês número 2008-266952 (depositado em 16 de outubro de 2008).

LISTAGEM DE REFERÊNCIA

	100 veículo,
	180 bateria,
	200, 202 máquina elétrica rotativa,
5	212, 214 alojamento,
	230 estator,
	232 núcleo de estator,
	236 dentes,
	238 bobina de estator,
10	250 rotor,
	252 núcleo de rotor,
	254 ímã permanente,
	257, 258 abertura de ar magnética,
	259 elemento de polo saliente auxiliado,
15	301, 302 núcleo,
	310 orifício

REIVINDICAÇÕES

1. Máquina elétrica rotativa compreendendo:
 - um estator (230) tendo uma bobina de estator (238); e
 - um rotor (250) proporcionado de maneira giratória ao redor de
 - 5 um eixo geométrico de rotação específico em relação ao estator (230), o rotor (250) incluindo:
 - uma pluralidade de ímãs (254);
 - uma pluralidade de orifícios nos quais os ímãs (254) são providos;
 - 10 uma pluralidade de elementos de polo salientes magneticamente auxiliados (259) proporcionados em uma porção de núcleo entre as regiões;
 - uma primeira abertura de ar magnética (257) formada com uma borda de cada um dos ímãs (254) e orifícios;
 - uma segunda abertura de ar magnética (258) ao longo de uma
 - 15 direção axial do eixo de rotação;
 - em que a segunda abertura de ar magnética (258) é formada independentemente da primeira abertura de ar magnética (257); e
 - em que a segunda abertura de ar magnética (258) tem uma quantidade de desvio a partir do eixo q em uma seção transversal perpendicular ao eixo de rotação;
 - 20 **caracterizado pelo fato de que** a pluralidade de ímãs (254) é disposta em regiões de polaridade alternada, em que cada uma das regiões tem pelo menos um ímã (254);
 - em que a segunda abertura de ar magnética (258) é proporcionada em cada um dos elementos de polo salientes magneticamente auxilia-
 - 25 dos (259), em uma posição deslocada em uma direção circunferencial do eixo de rotação a partir de um eixo q que passa através de um centro de polo saliente de cada os elementos de polo salientes magneticamente auxiliados (259); e
 - 30 em que a quantidade de desvio que varia dependendo das posições dos elementos de polo salientes magneticamente auxiliados (259) de modo que as flutuações de torque na seção transversal cancelem umas às

outras quando a energia é aplicada.

2. Máquina elétrica rotativa, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizada pelo fato de que** as posições circunferenciais dos ímãs (254) no rotor (250) são constantes independente das posições na direção axial.

5 3. Máquina elétrica rotativa, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizada pelo fato de que** o rotor (250) é dividido em uma pluralidade de núcleos separados (301,302) na direção axial que são proporcionados ao longo da direção axial e cada um dos quais tem pelo menos um dentre um ímã (254), o elemento de polo saliente magneticamente auxiliado (259) e a
10 segunda abertura de ar magnética (258), e

as posições circunferenciais dos ímãs (254) nos núcleos separados (301,302) na direção axial são constantes independente das posições na direção axial.

4. Máquina elétrica rotativa, de acordo com a reivindicação 3, **caracterizada pelo fato de que:**

o rotor (250) inclui uma pluralidade de grupos de núcleo, cada um consistindo em uma pluralidade dos núcleos separados (301,302) na direção axial que têm as mesmas posições das segundas aberturas de ar magnéticas (258) na direção circunferencial, e

20 uma soma da espessura da pluralidade de núcleos separados (301,302) na direção axial que constitui o grupo de núcleo na direção axial é constante para cada pluralidade de grupos de núcleo.

5. Máquina elétrica rotativa, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizada pelo fato de que** a segunda abertura de ar magnética (258) é
25 um côncavo formado em uma superfície do rotor (250).

6. Máquina elétrica rotativa, de acordo com a reivindicação 5, **caracterizada pelo fato de que** o côncavo tem um ângulo de largura na direção circunferencial que se encontra dentro da faixa de 1/4 a 1/2 vezes um ângulo de passo entre quaisquer dois dentes (236) adjacentes proporcionados no estator (230).
30

7. Máquina elétrica rotativa, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizada pelo fato de que** a segunda abertura de ar magnética (258) é

um orifício formado em uma superfície do rotor (250).

8. Máquina elétrica rotativa, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizada pelo fato de que** a pluralidade de ímãs (254) está disposta na direção circunferencial de modo que uma direção de magnetização de cada ímã (254) se encontre em uma direção radial do rotor (250) que é perpendicular à direção axial e uma orientação de magnetização de cada ímã (254) é alternadamente invertida.

9. Máquina elétrica rotativa, de acordo com a reivindicação 8, **caracterizada pelo fato de que** cada um dos ímãs (254) constitui um grupo de ímã que consiste em uma pluralidade de ímãs que têm a mesma orientação de magnetização.

10. Máquina elétrica rotativa, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizada pelo fato de que** o elemento de polo saliente magneticamente auxiliado (259) é dotado de uma pluralidade de segundas aberturas de ar magnéticas (258).

11. Máquina elétrica rotativa, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizada pelo fato de que** as segundas aberturas de ar magnéticas (258) estão dispostas de maneira assimétrica em relação ao eixo geométrico q que passa através do centro de polo saliente e de maneira simétrica em relação a um eixo geométrico d que passa através de um centro de polo magnético do ímã (254).

12. Máquina elétrica rotativa, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizada pelo fato de que** as segundas aberturas de ar magnéticas (258) estão dispostas de maneira simétrica em relação ao eixo geométrico q que passa através do centro de polo saliente e de maneira assimétrica em relação a um eixo geométrico d que passa através de um centro de polo magnético do ímã (254).

13. Máquina elétrica rotativa, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizada pelo fato de que** o rotor (250) inclui uma pluralidade de núcleos de rotor (301,302), cada um incluindo um laminado de chapas de aço eletromagnéticas dotado de um orifício ou reentrância que constitui uma segunda abertura de ar magnética (258).

14. Máquina elétrica rotativa, de acordo com a reivindicação 13, **caracterizada pelo fato de que** cada um dos núcleos de rotor (301,302) tem uma posição diferente da segunda abertura de ar magnética (258) dependendo da posição na direção axial ao desviar as chapas de aço eletromagnéticas na direção circunferencial através de uma unidade de passo de polo magnético do ímã (254).

15. Máquina elétrica rotativa, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizada pelo fato de que** o rotor (250) inclui uma primeira estrutura inclinada na qual os ímãs (254) são dispostos desviados na direção circunferencial que corresponde às posições axiais dos ímãs (254) e uma segunda estrutura inclinada na qual as segundas aberturas de ar magnéticas (258) são dispostas desviadas na direção circunferencial que corresponde às posições axiais das segundas aberturas de ar magnéticas (258).

16. Máquina elétrica rotativa, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizada pelo fato de que** a bobina de estator (238) é enrolada através do enrolamento distribuído.

17. Máquina elétrica rotativa, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizada pelo fato de que** um raio de polo de um orifício magnético $\tau.g/\tau.p$ é ajustado de 0,5 a 0,9, em que $\tau.p$ indica o passo do polo do ímã permanente e $\tau.g$ indica um ângulo para o ímã e as primeiras aberturas de ar magnéticas (257) em ambos os lados.

18. Máquina elétrica rotativa, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizada pelo fato de que** o raio de polo do orifício magnético $\tau.g/\tau.p$ é ajustado de 0,7 a 0,8.

19. Máquina elétrica rotativa, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizada pelo fato de que** a segunda abertura de ar magnética (258) é fornecida em todos os outros polos dos elementos de polo salientes magneticamente auxiliados (259), e um polo fornecido com a segunda abertura de ar magnética (258) e um polo sem a segunda abertura de ar magnética (258) são dispostas alternadamente.

20. Veículo elétrico (100) compreendendo:

uma máquina elétrica rotativa (200,202) incluindo:

um estator (230) tendo uma bobina de estator (238); e
um rotor (250) proporcionado de maneira giratória ao redor de um eixo geométrico de rotação específico em relação ao estator (230), o rotor (250) incluindo:

5 uma pluralidade de ímãs (254);
 uma pluralidade de orifícios nos quais os ímãs (254) são providos;

 uma pluralidade de elementos de polo salientes magneticamente auxiliados (259) proporcionados em uma porção de núcleo entre as regiões;

10 uma primeira abertura de ar magnética (257) formada com uma borda de cada um dos ímãs (254) e orifícios;

 uma segunda abertura de ar magnética (258) ao longo de uma direção axial do eixo de rotação;

15 em que a segunda abertura de ar magnética (258) é formada independentemente da primeira abertura de ar magnética (257); e

 em que a segunda abertura de ar magnética (258) tem uma quantidade de desvio a partir do eixo q em uma seção transversal perpendicular ao eixo de rotação;

20 uma bateria (180) que fornece corrente direta; e

 uma unidade de conversão (600) que converte a corrente direta da bateria (180) em uma corrente alternada e fornece a corrente alternada para a máquina elétrica rotativa (200,202), em que

25 um torque da máquina elétrica rotativa (200,202) é utilizado como uma força de acionamento;

caracterizado pelo fato de que a pluralidade de ímãs (254) é disposta em regiões de polaridade alternada, em que cada uma das regiões tem pelo menos um ímã (254);

30 em que a segunda abertura de ar magnética (258) é proporcionada em cada um dos elementos de polo salientes magneticamente auxiliados (259), em uma posição deslocada em uma direção circunferencial do eixo de rotação a partir de um eixo q que passa através de um centro de po-

lo saliente de cada os elementos de polo salientes magneticamente auxiliados (259); e

em que a quantidade de desvio que varia dependendo das posições dos elementos de polo salientes magneticamente auxiliados (259) de modo que as flutuações de torque na seção transversal cancelem umas às outras quando a energia é aplicada.

FIG.1

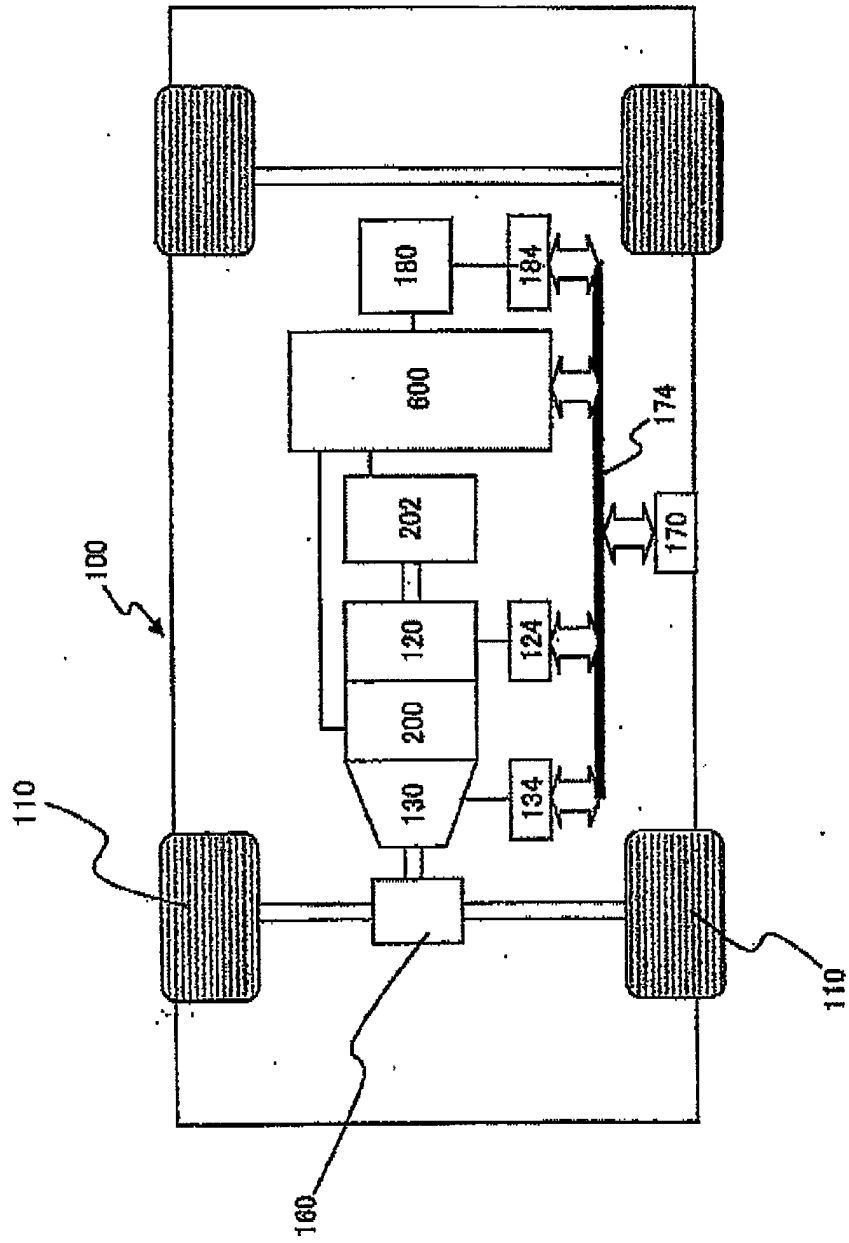


FIG.2

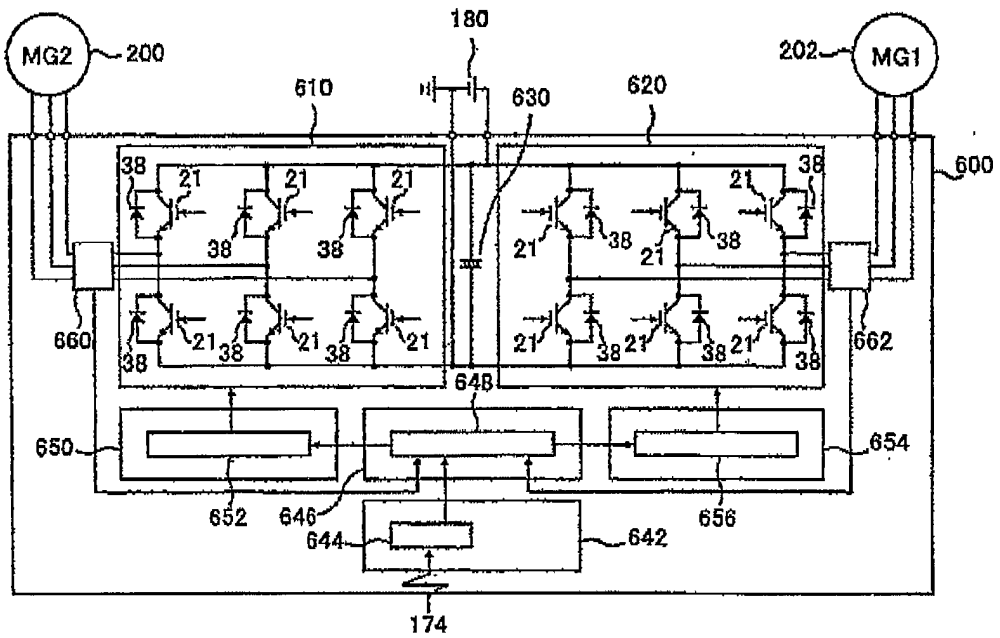


FIG.3

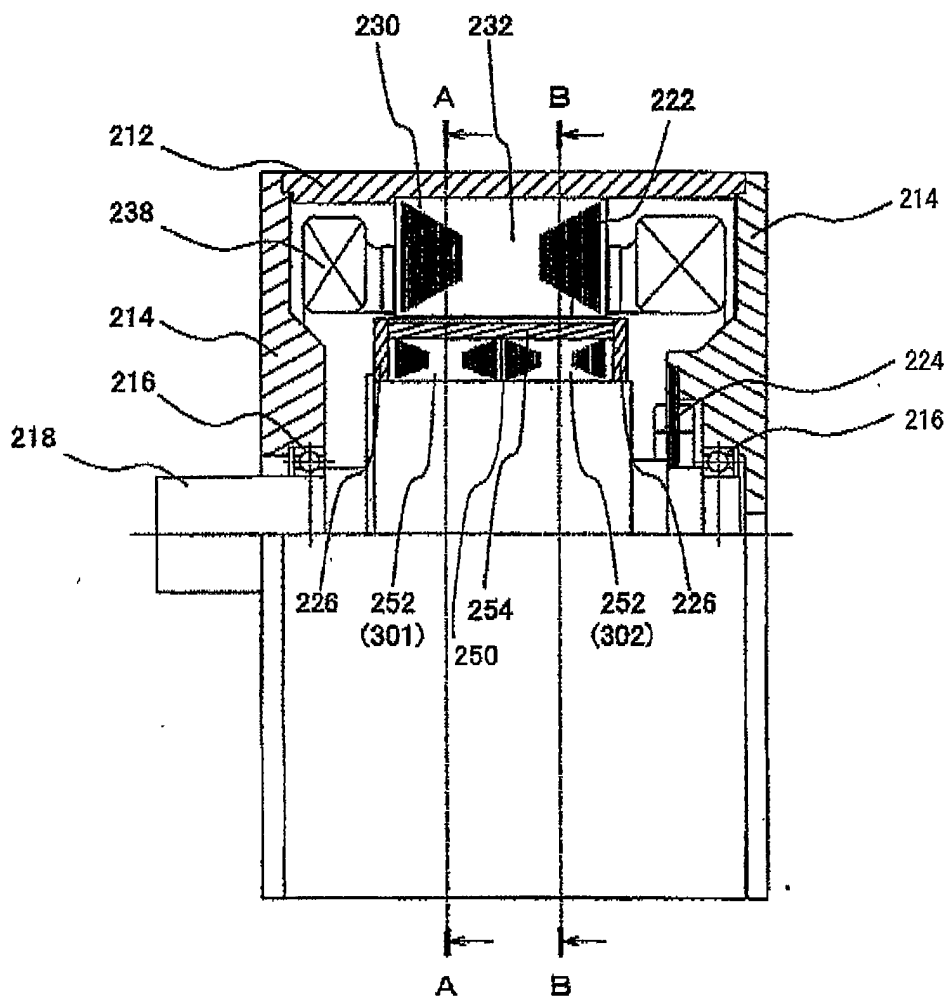


FIG.4(a)

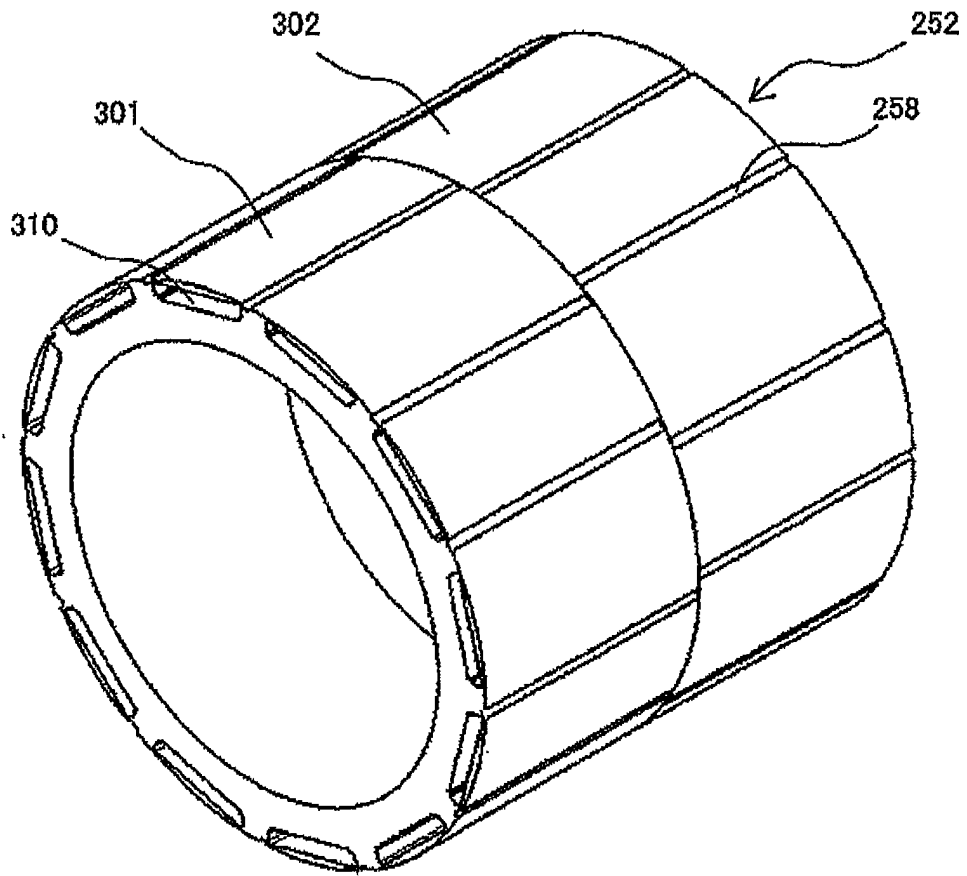


FIG.4(b)

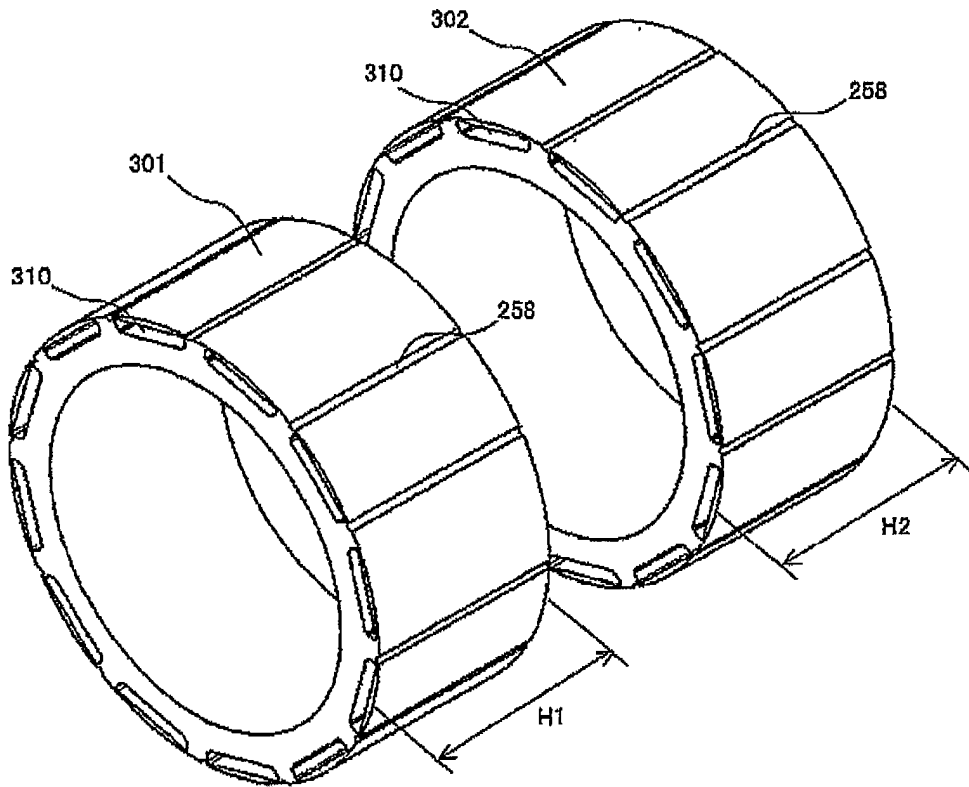


FIG.5(a)

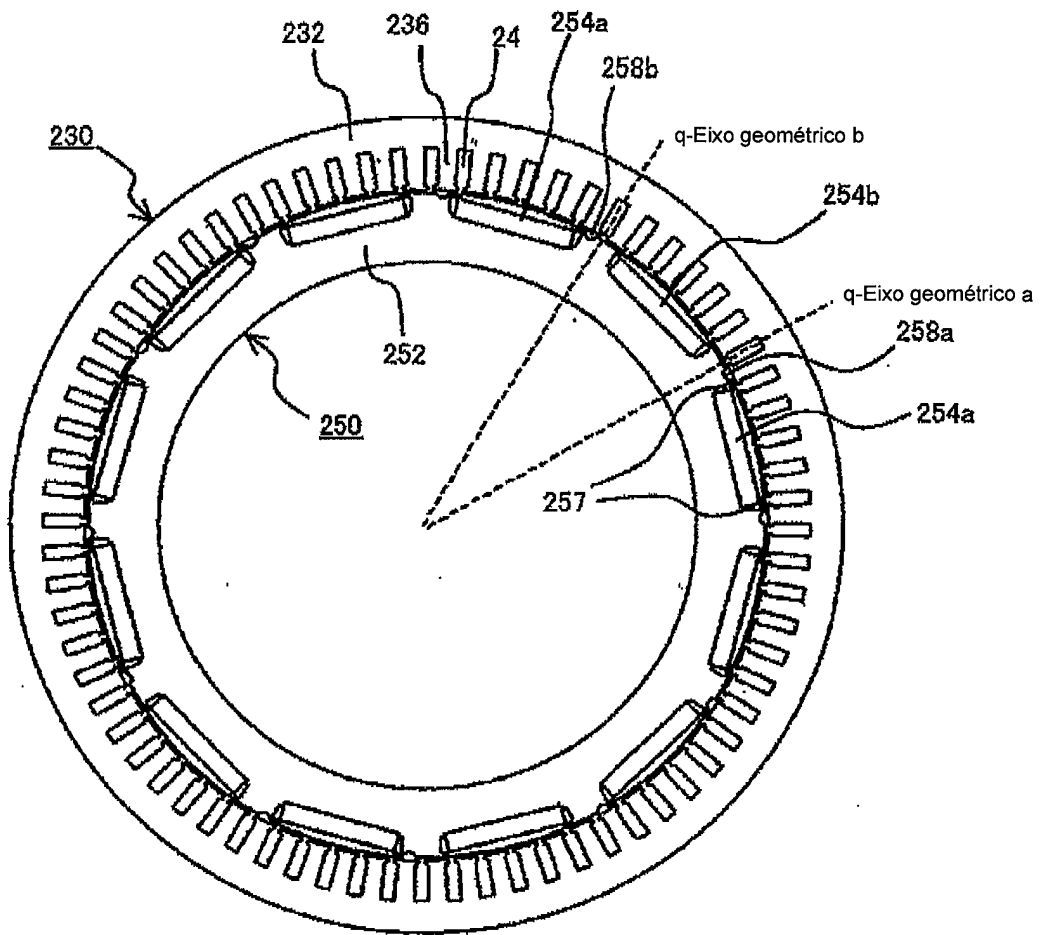


FIG.5(b)

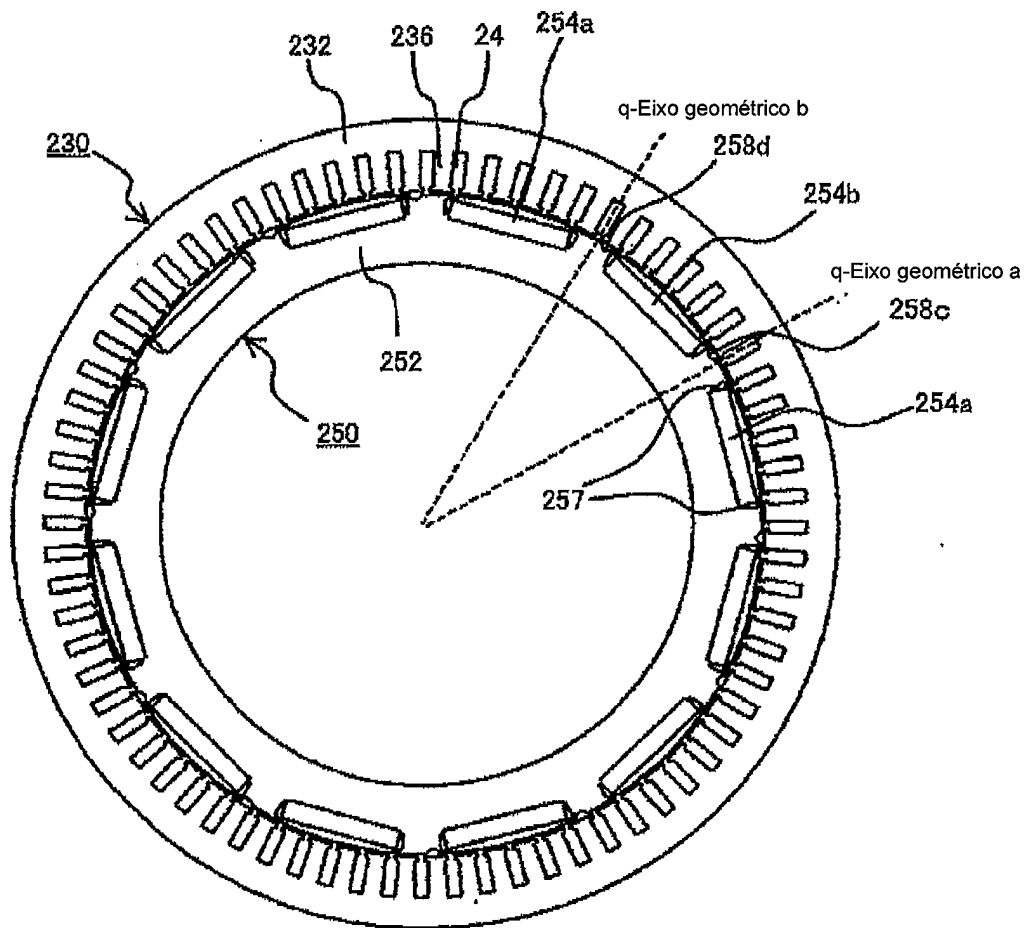


FIG.6(a)

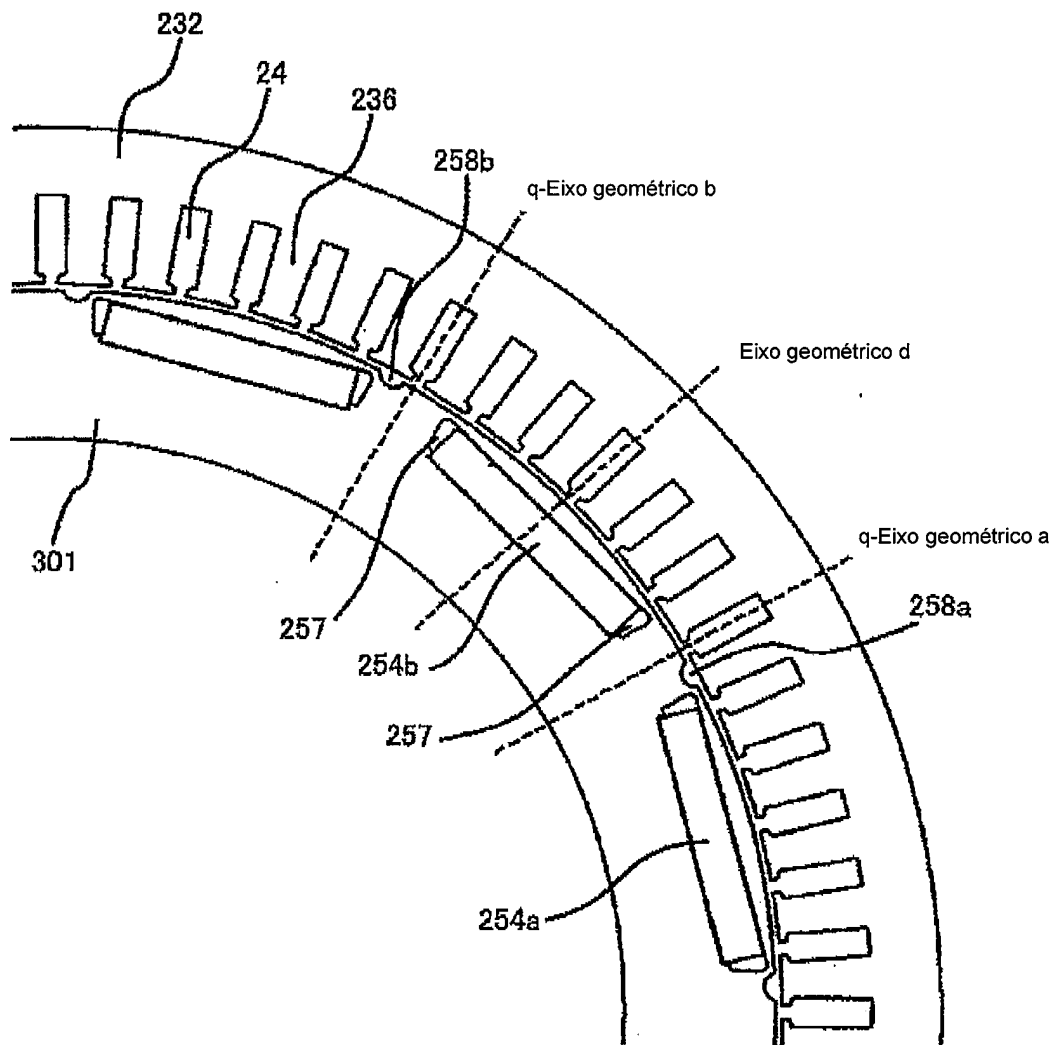


FIG.6(b)

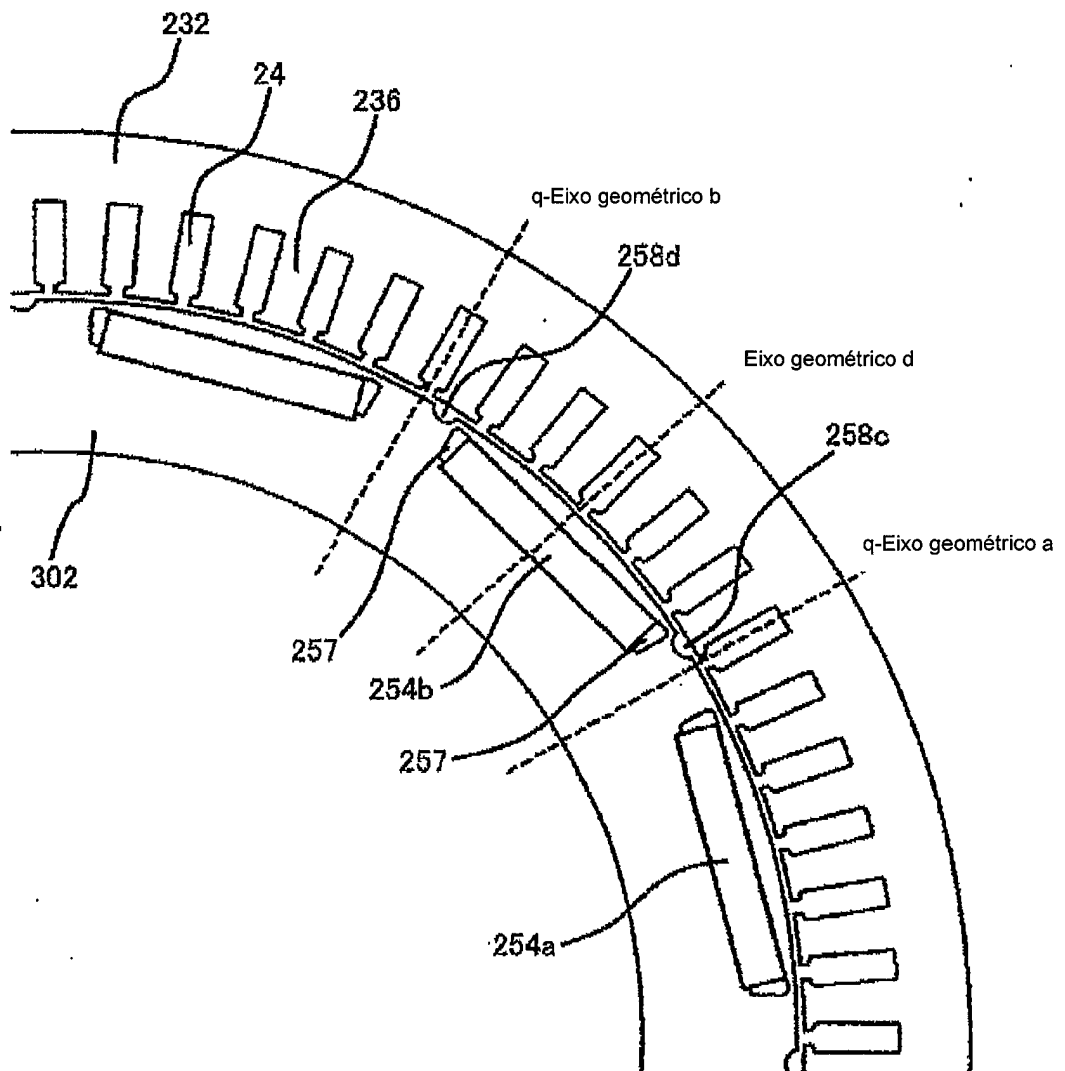


FIG.7

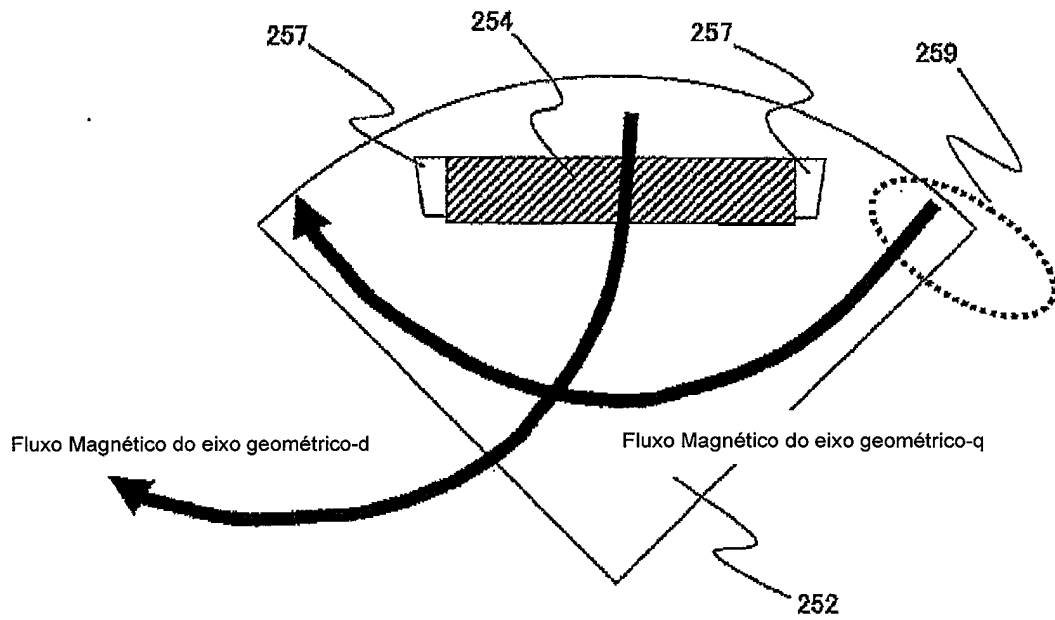


FIG.8(a)

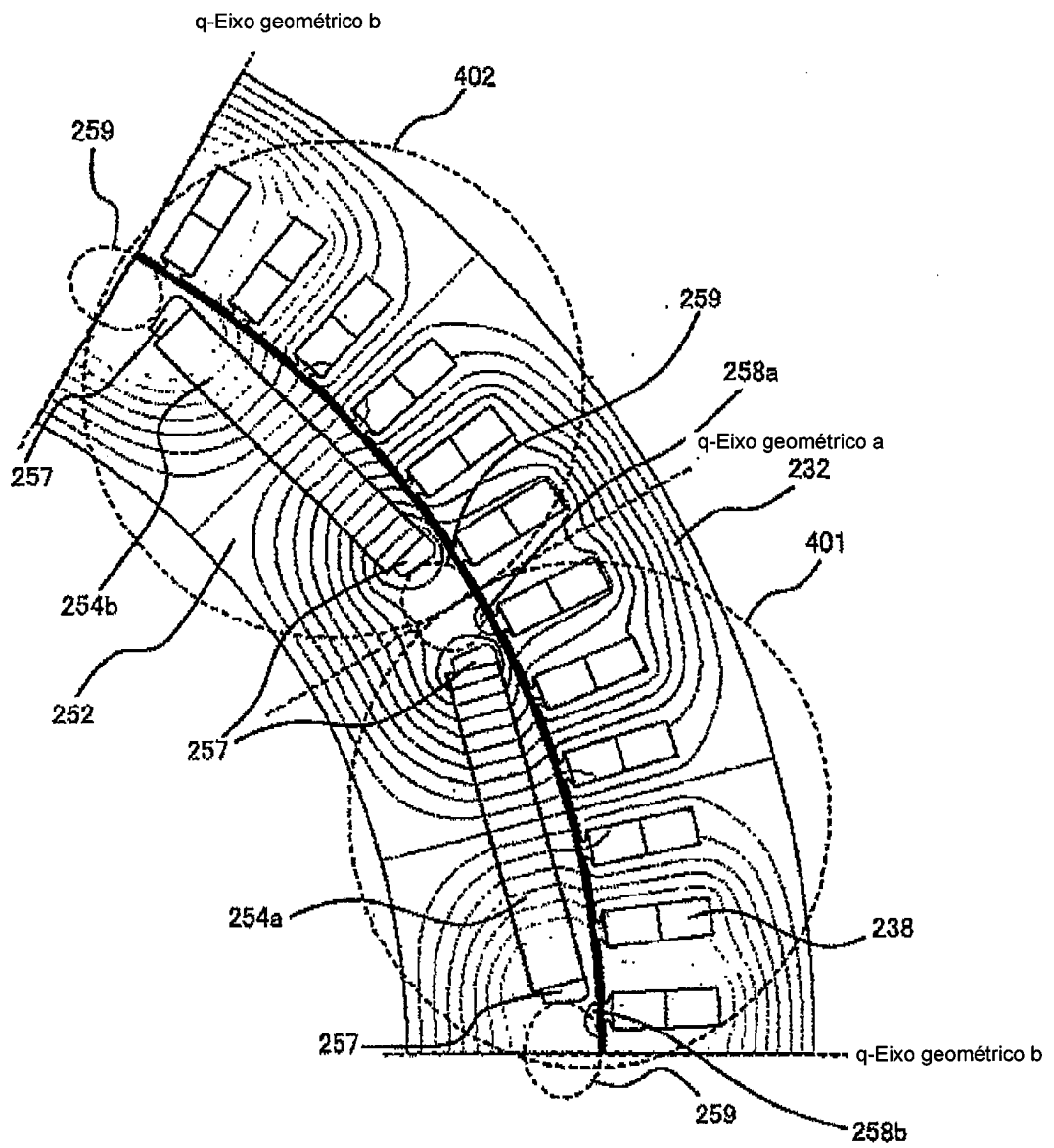


FIG.8(b)

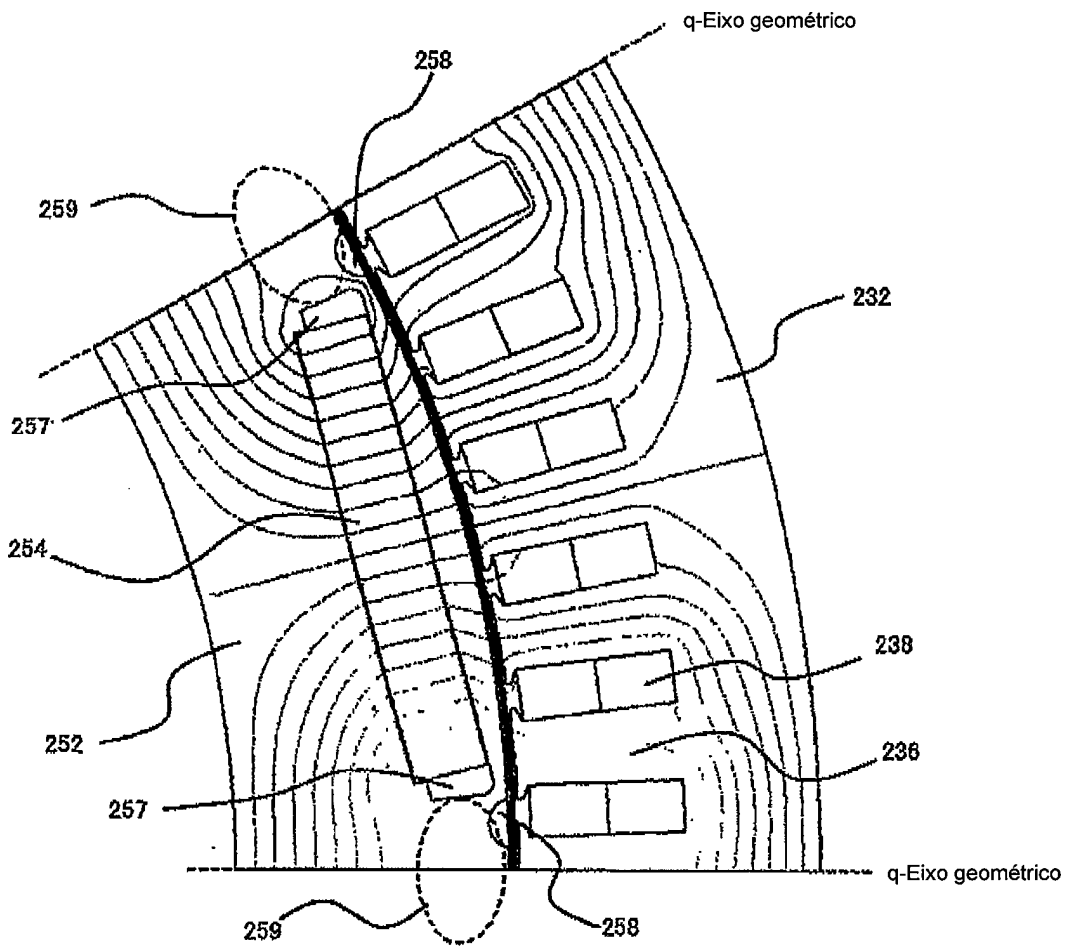


FIG.8(c)

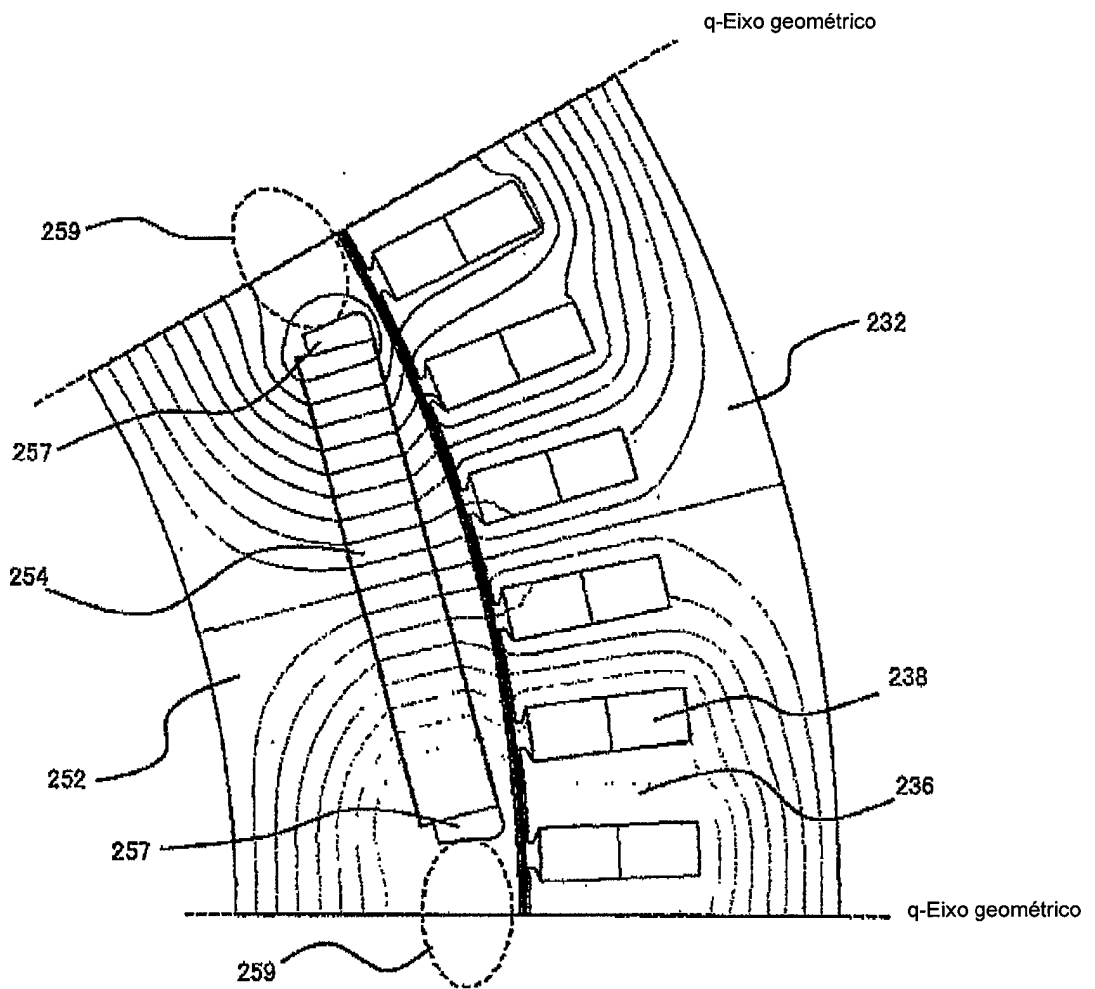


FIG.9(a)

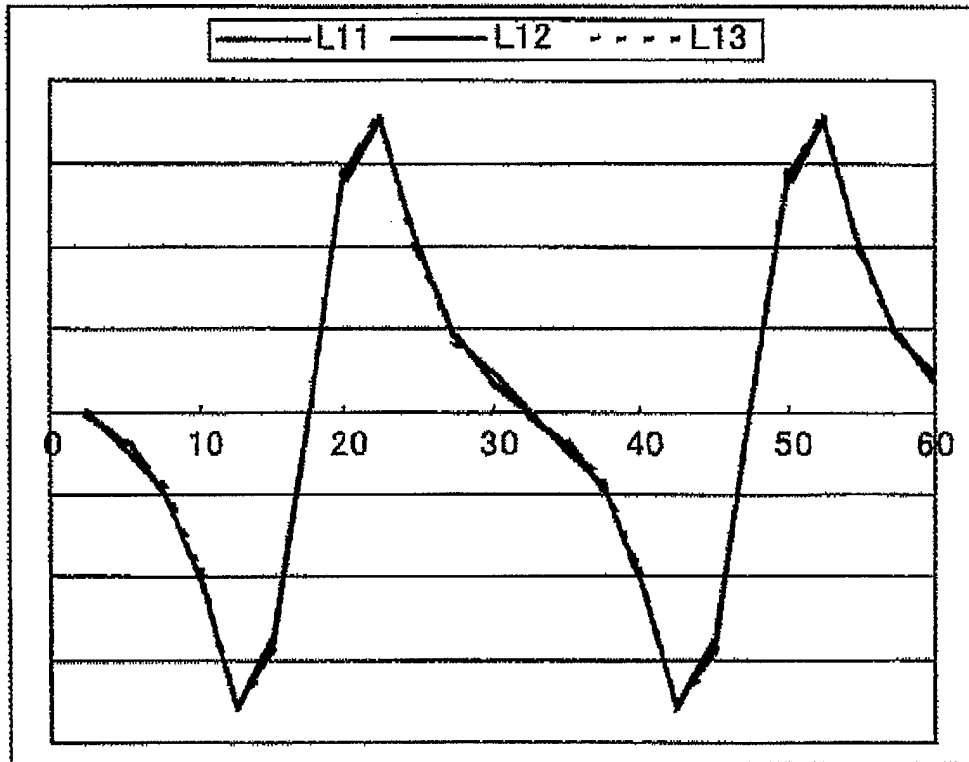


FIG.9(b)

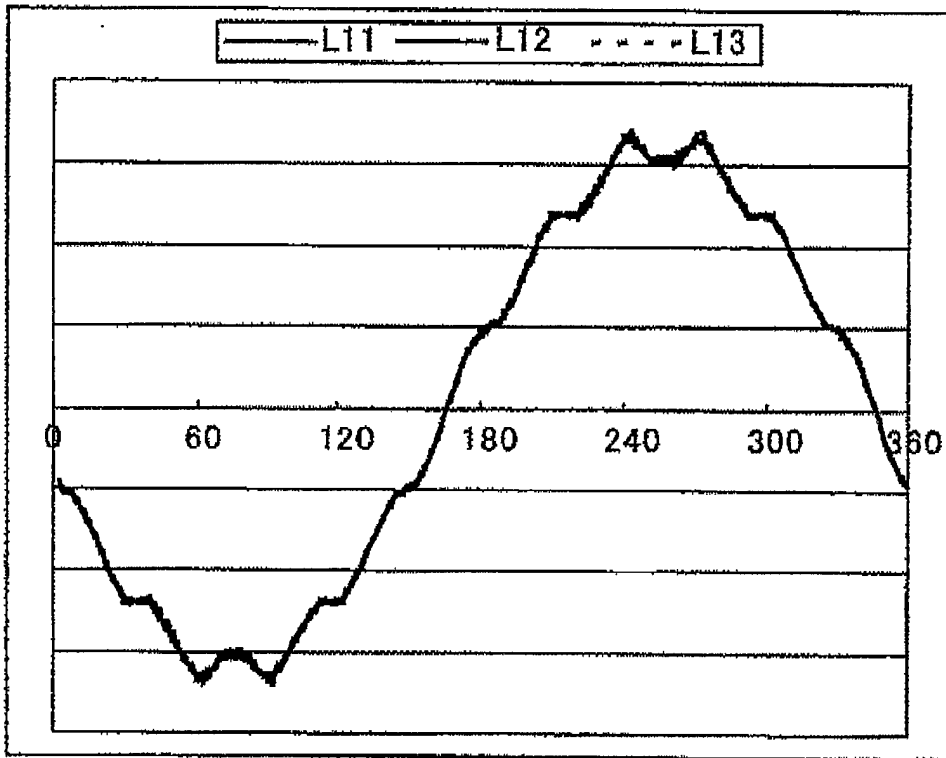


FIG.10(a)

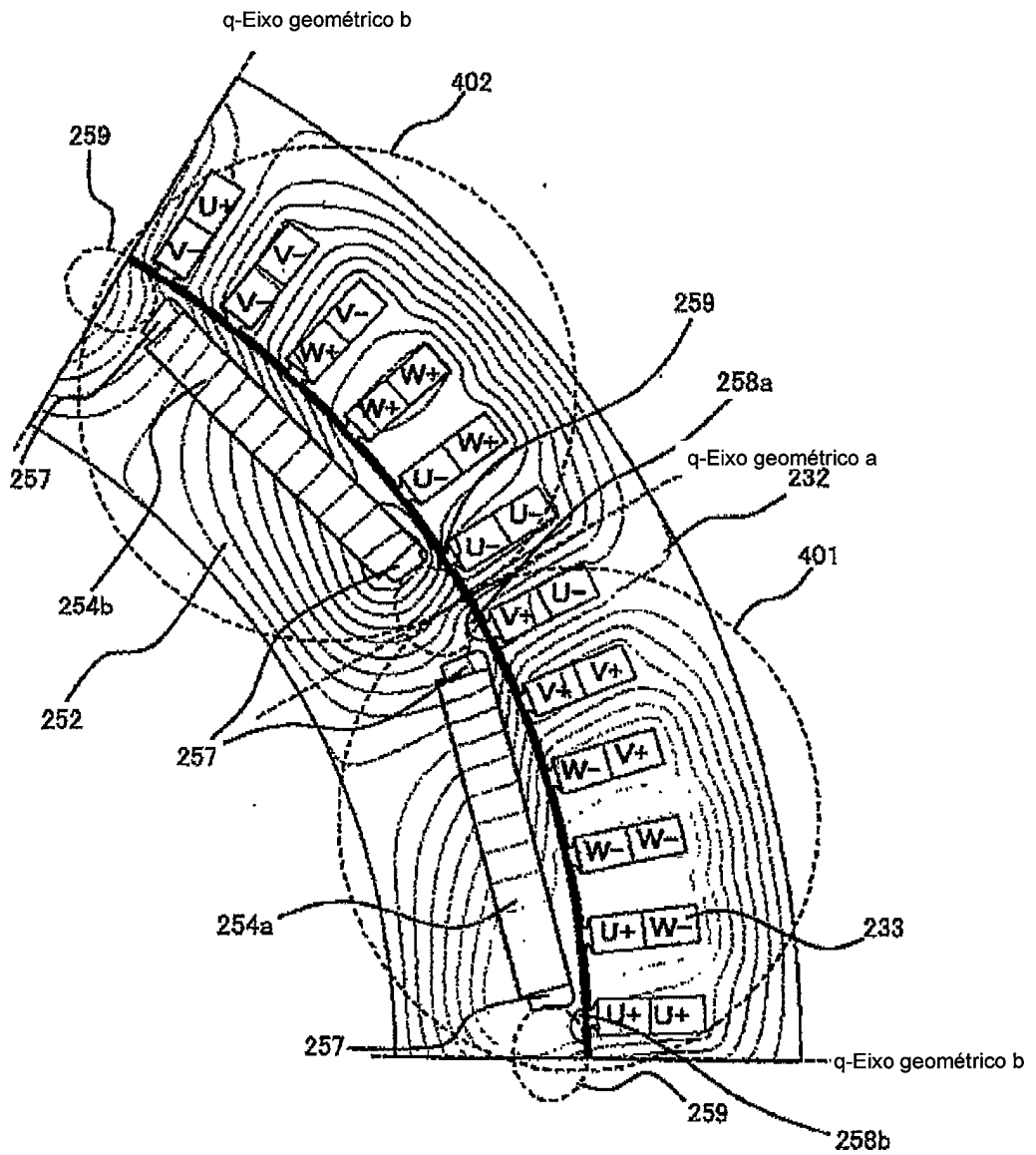


FIG.10(b)

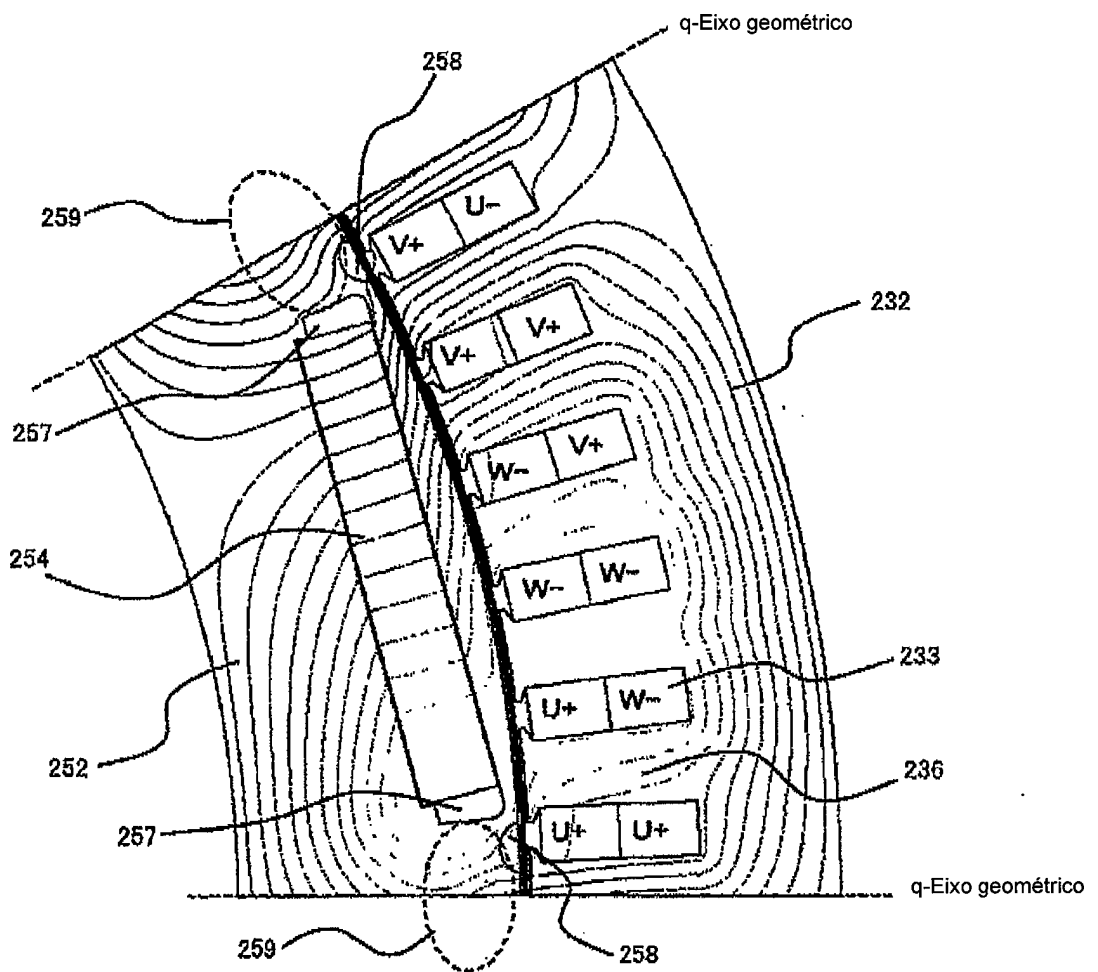


FIG.10(c)

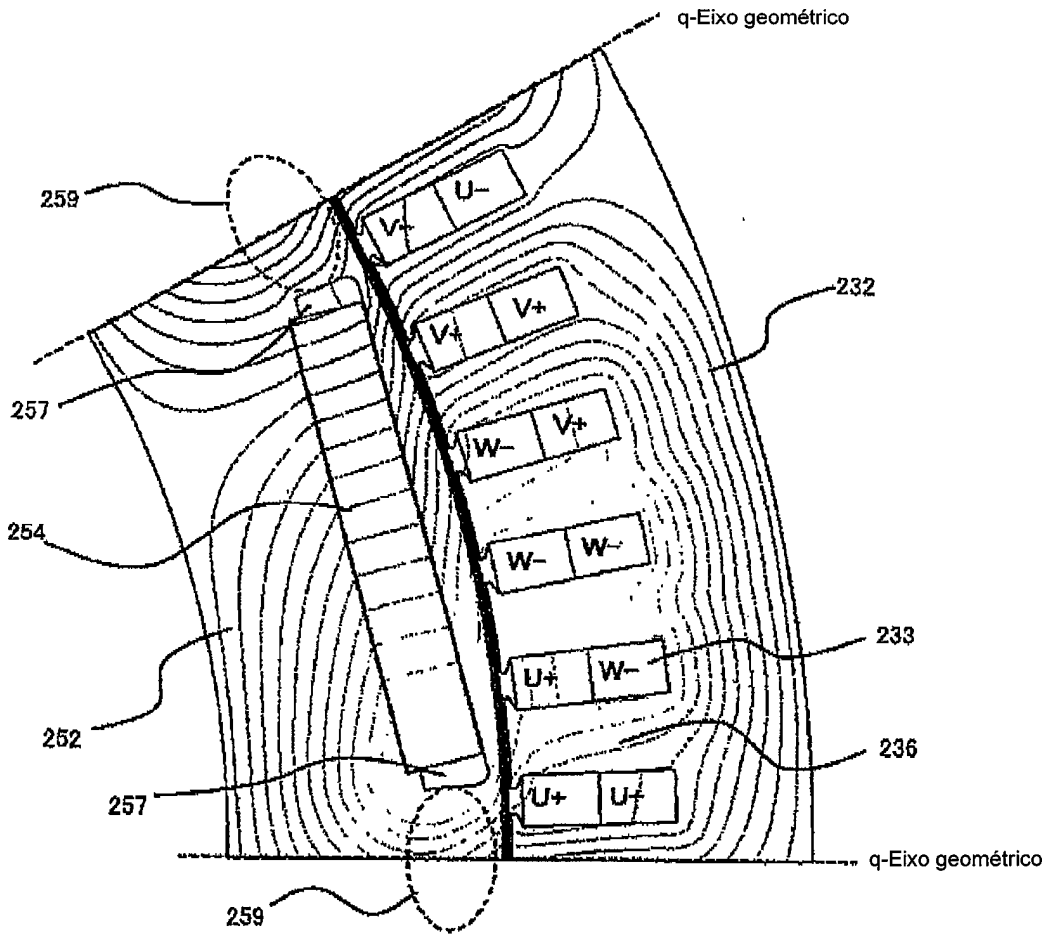


FIG.11(a)

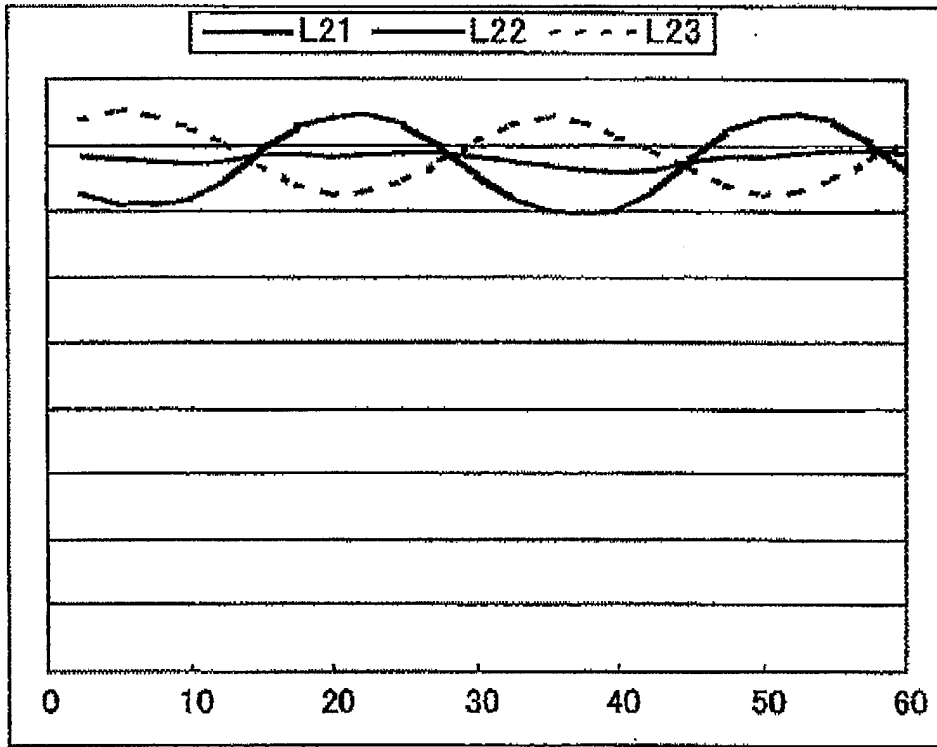


FIG.11(b)

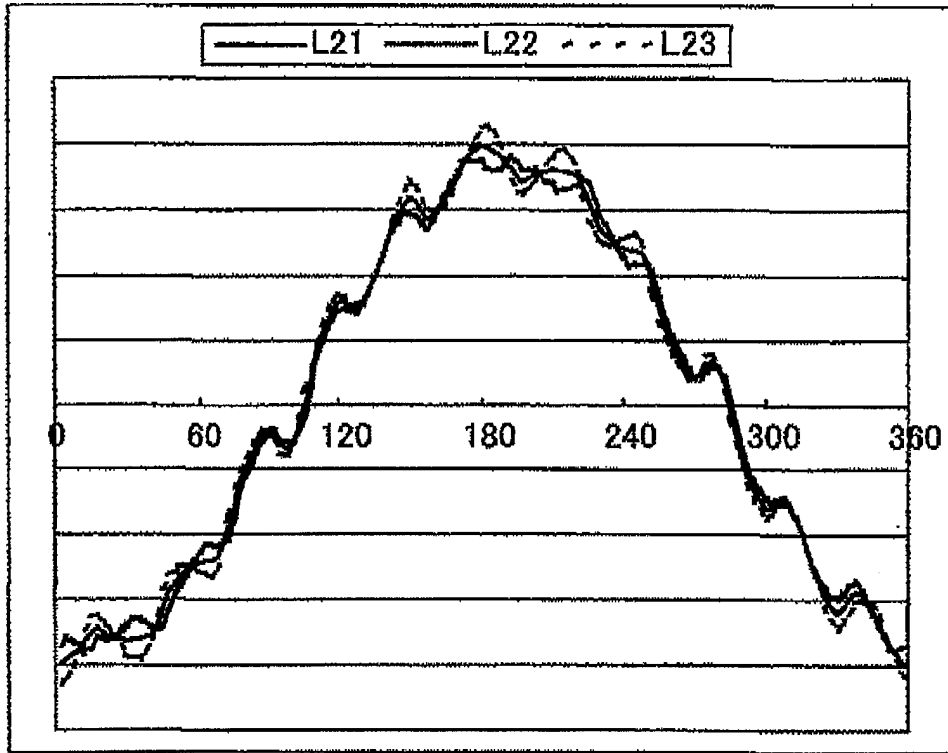


FIG.12

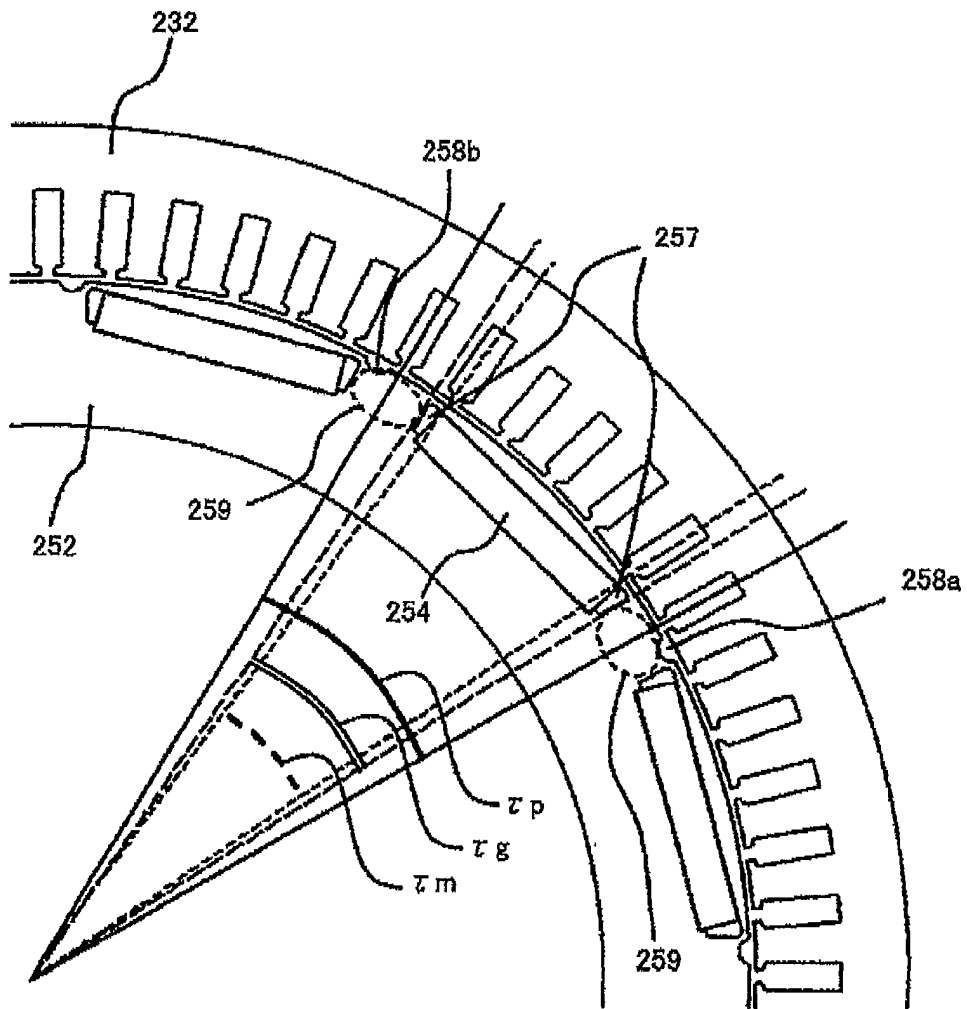


FIG.13

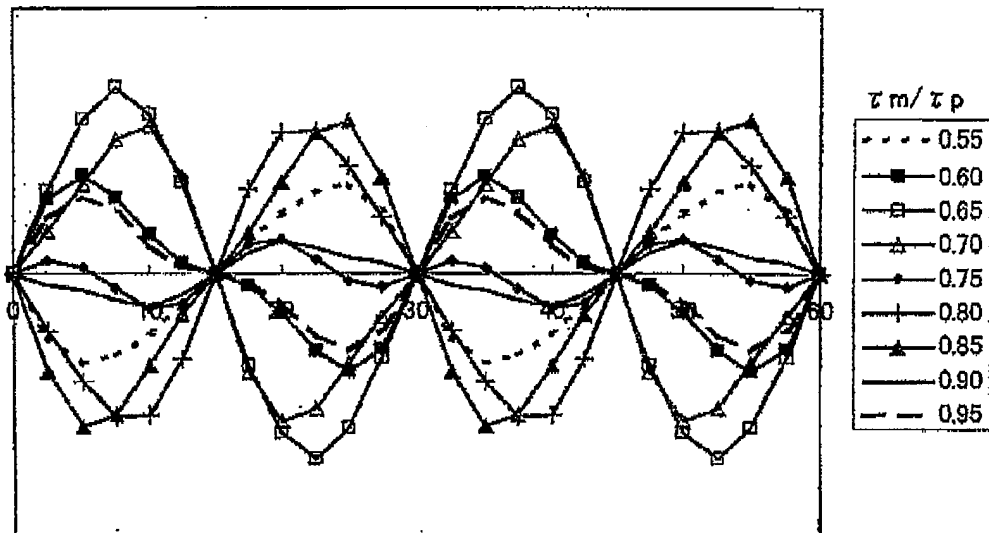


FIG.14

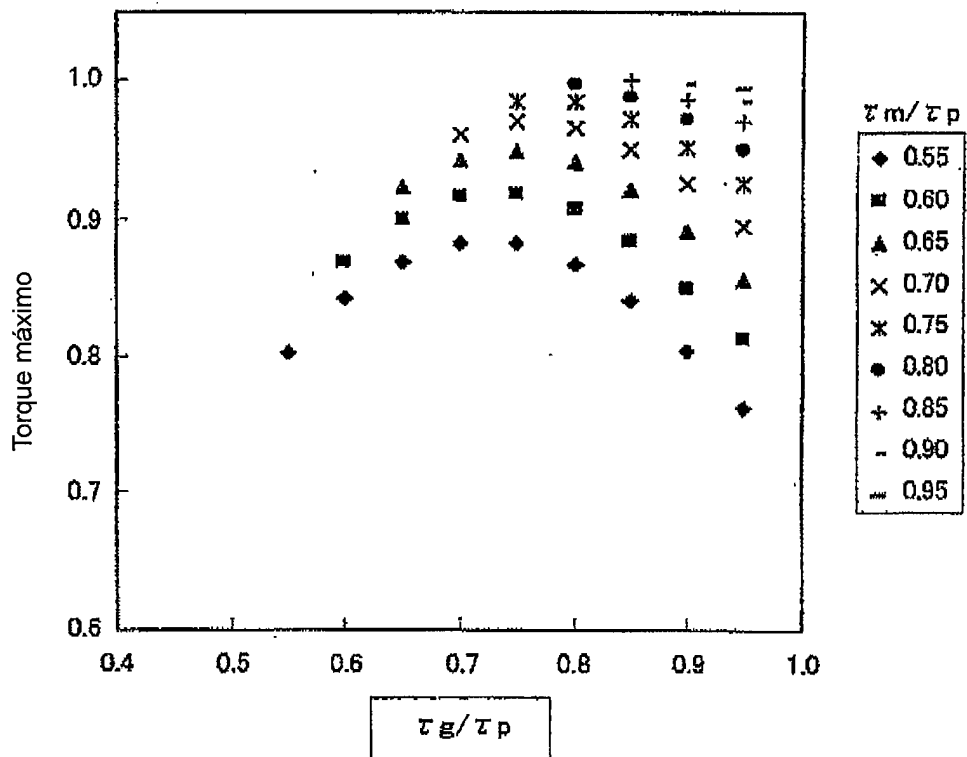


FIG.15(a)

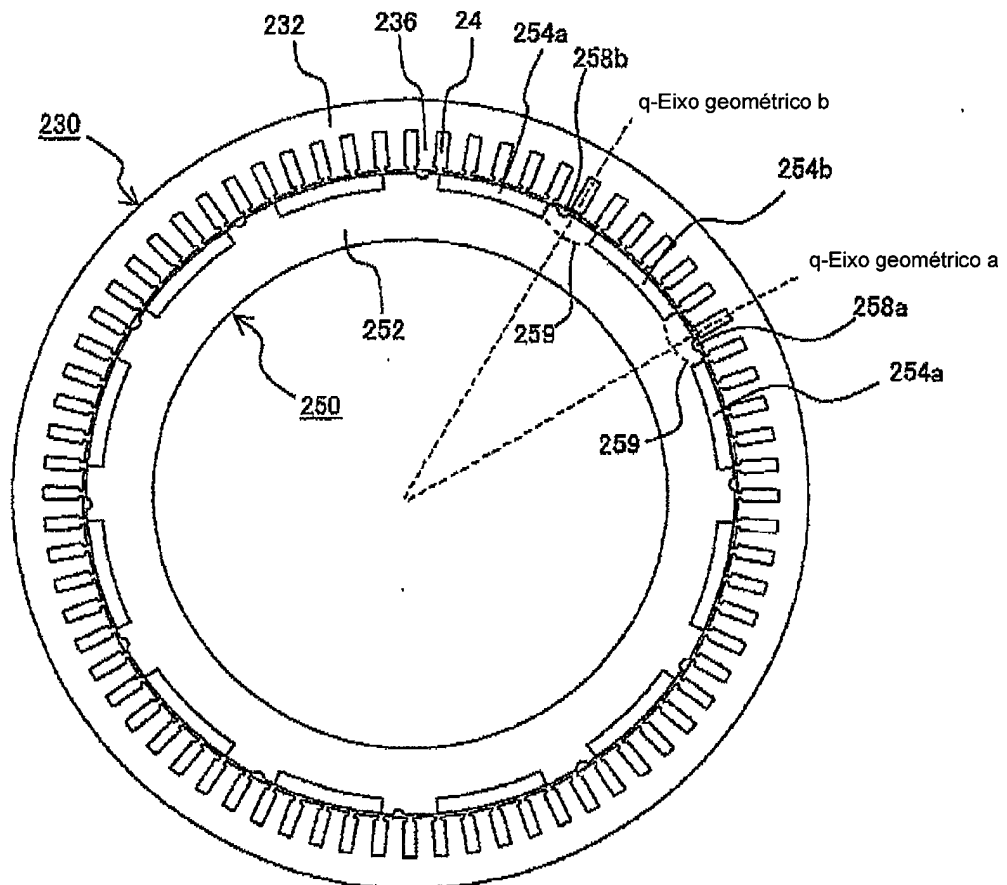


FIG.15(b)

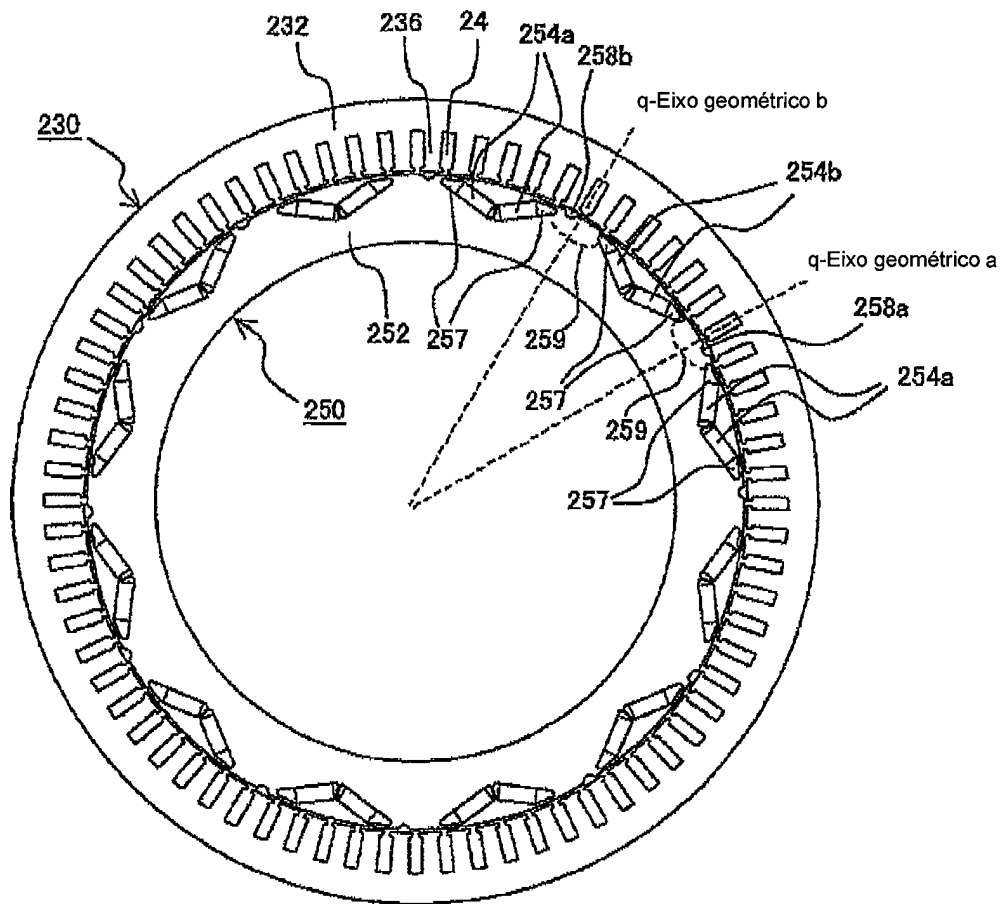


FIG.16

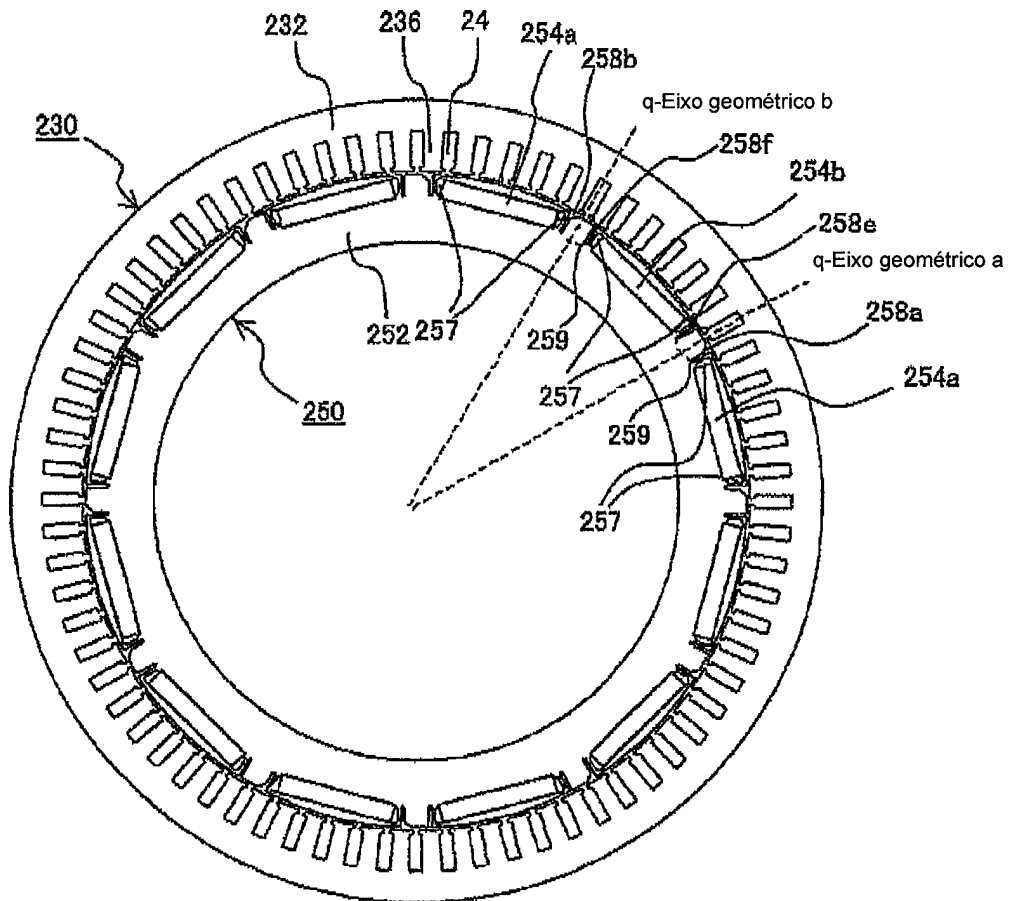


FIG.17(a)

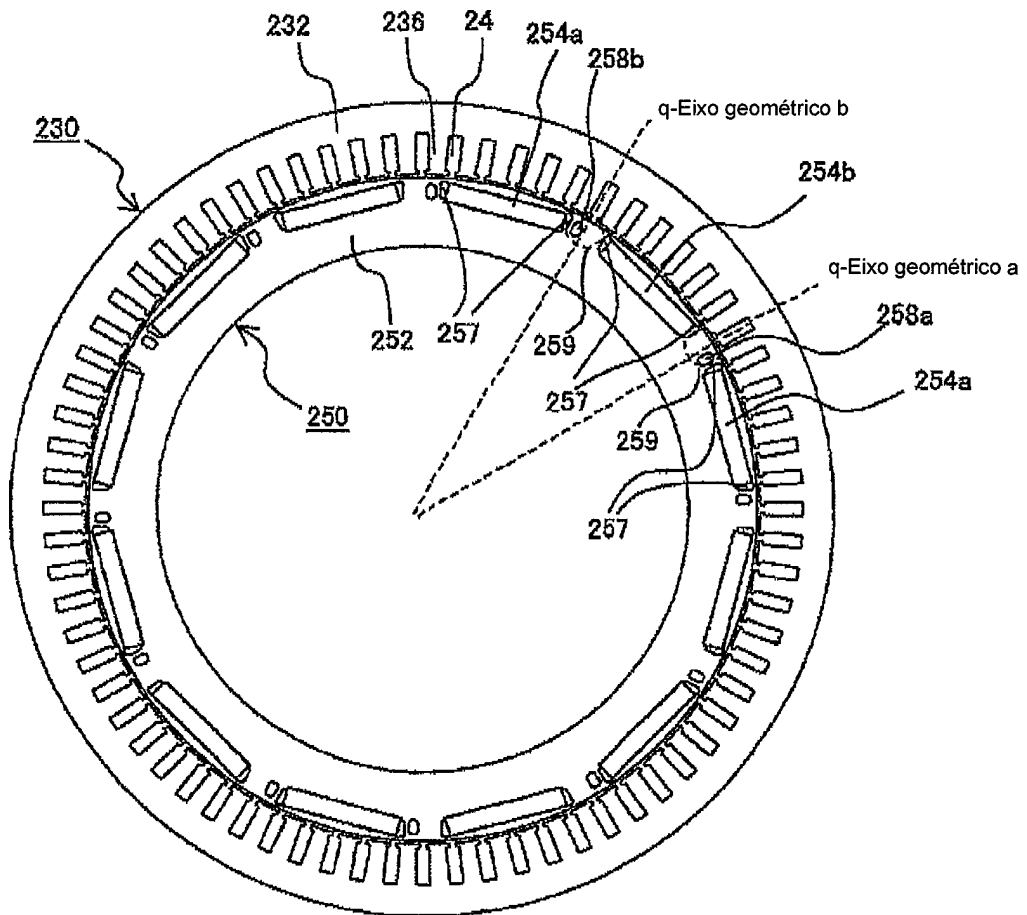


FIG.17(b)

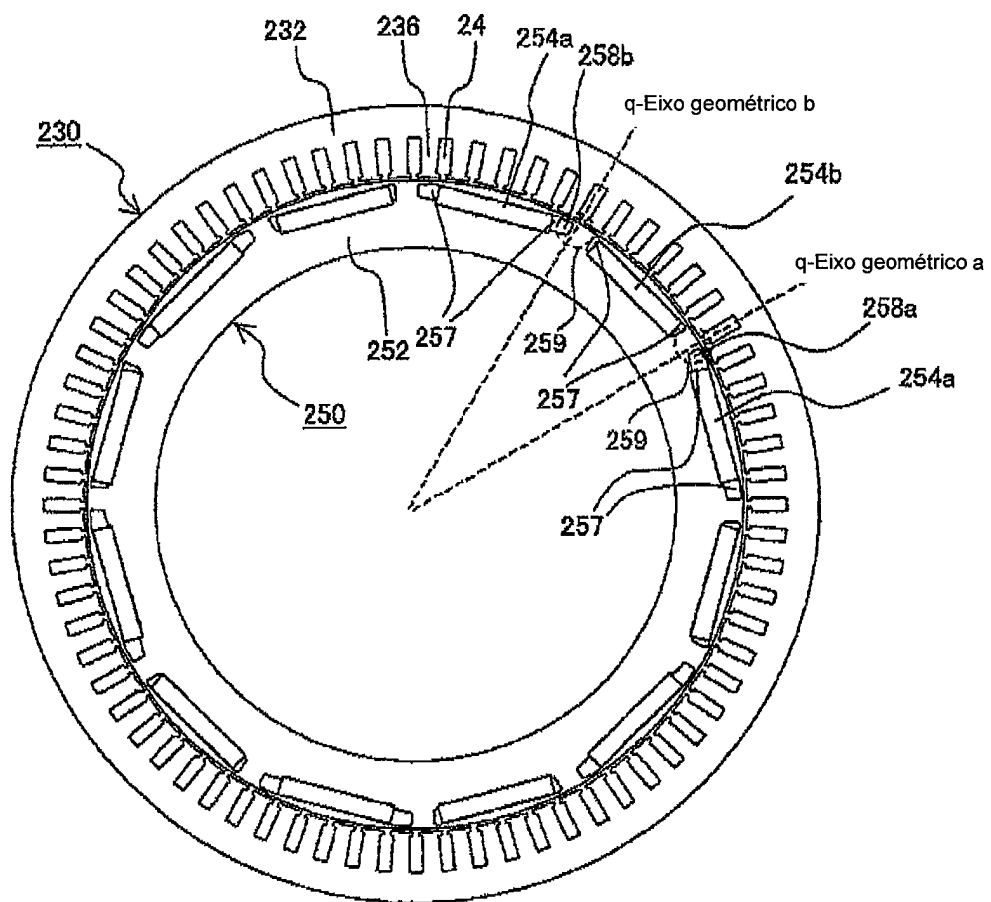


FIG.17(c)

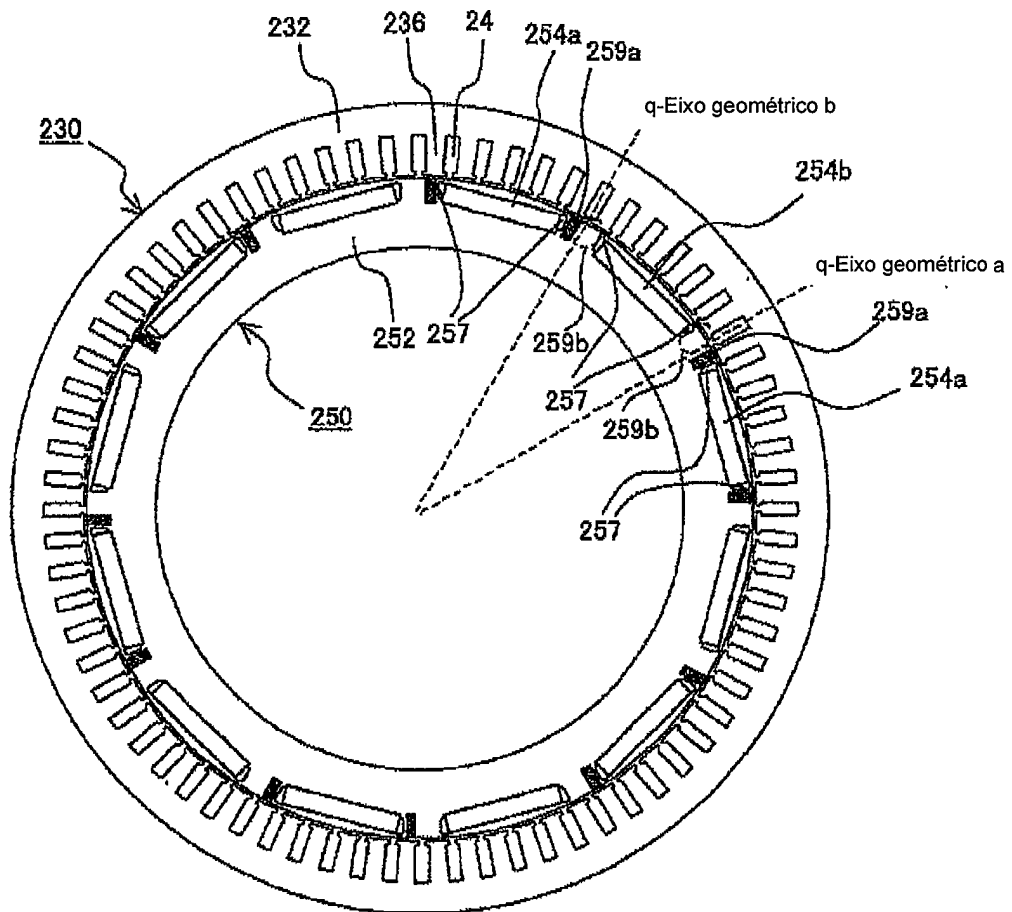


FIG.18

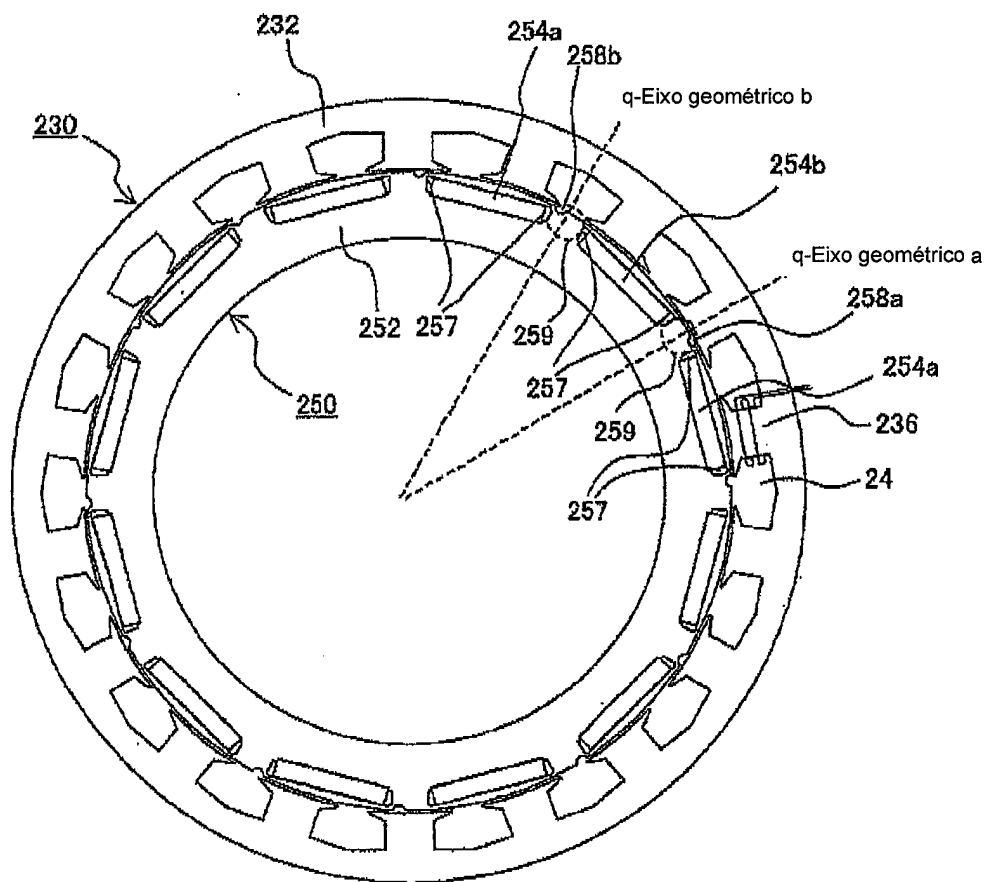


FIG.19(a)

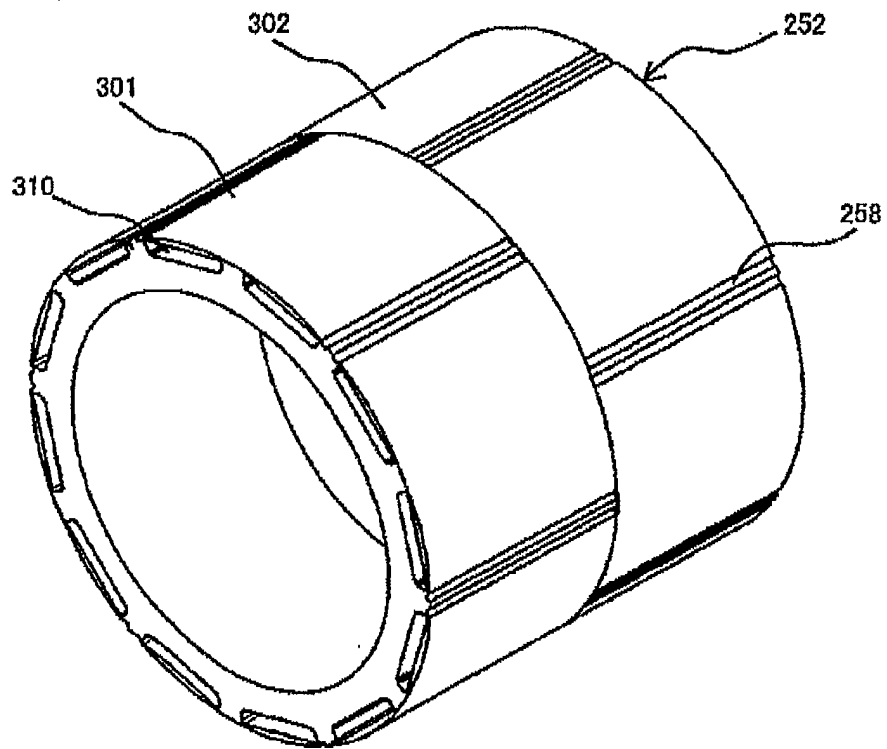


FIG.19(b)

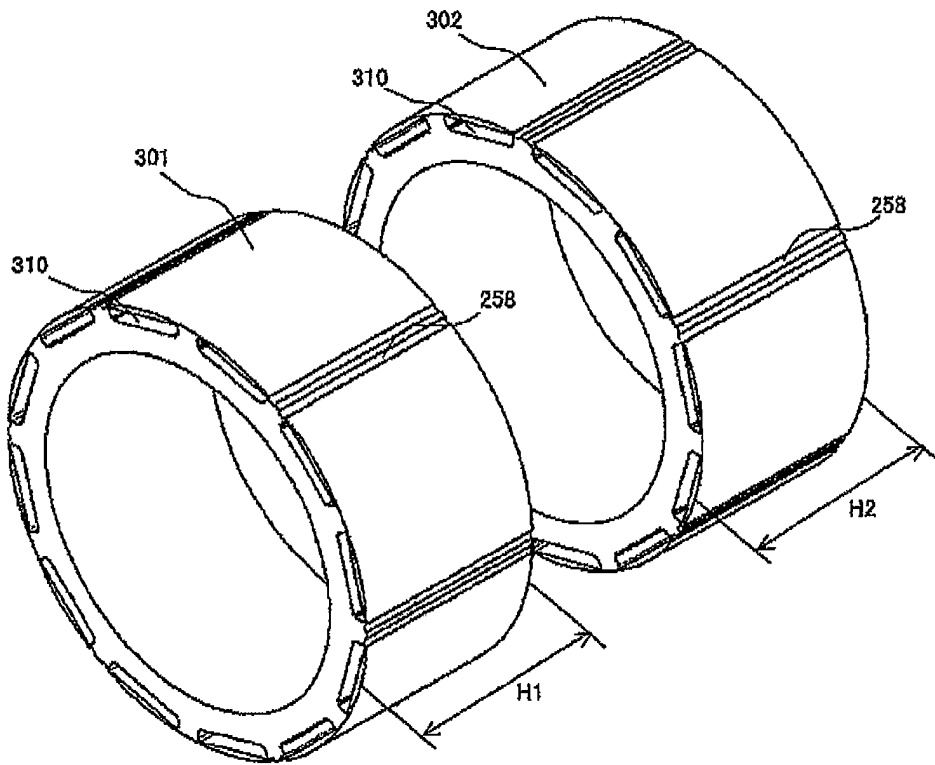


FIG.20(a)

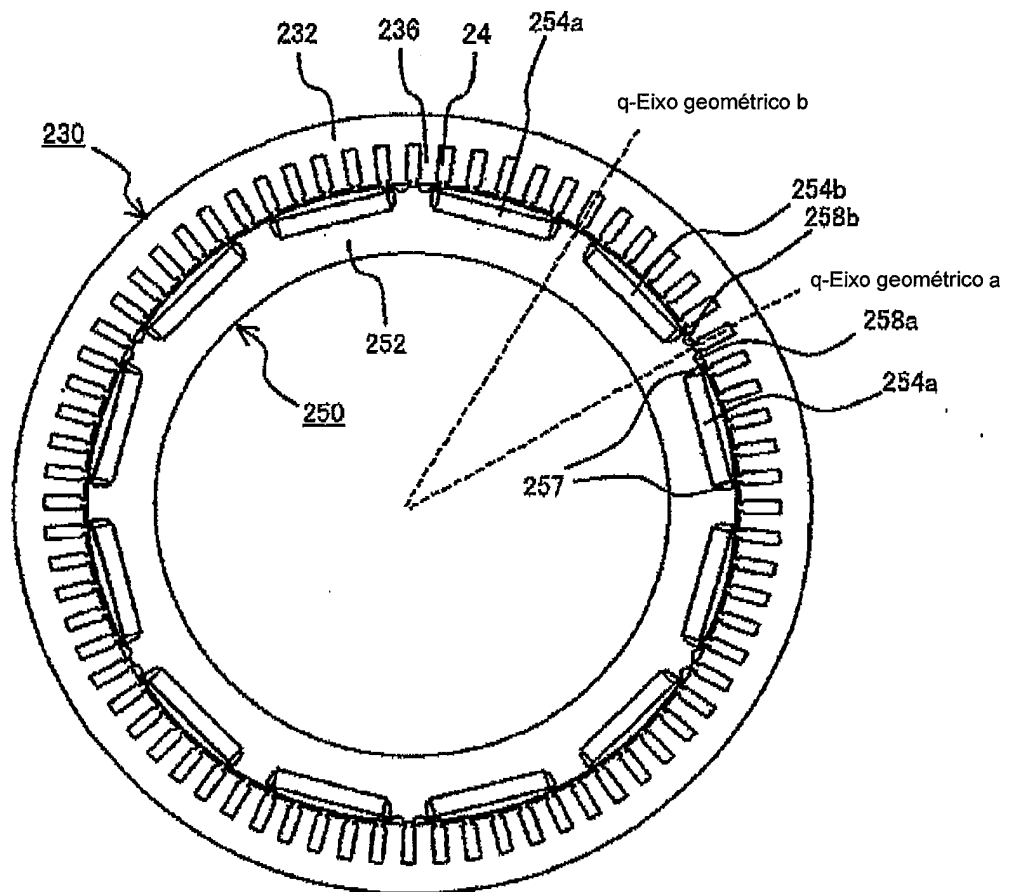


FIG.20(b)

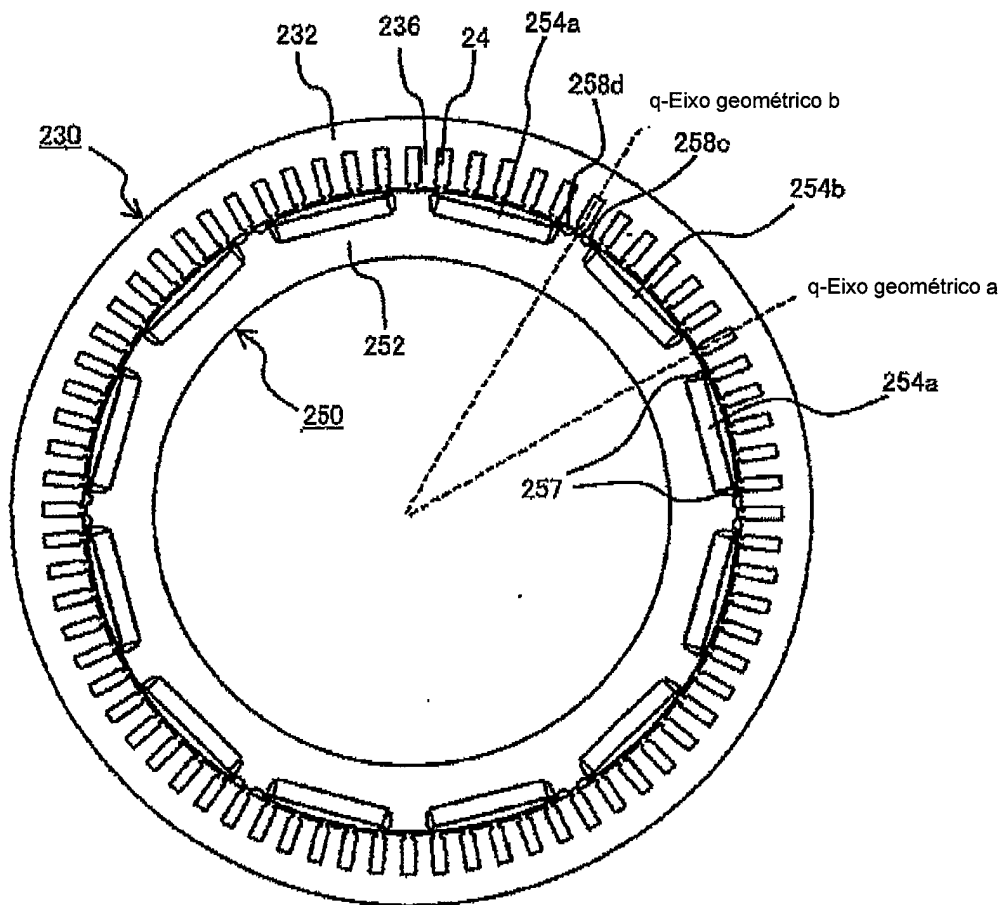


FIG.21(a)

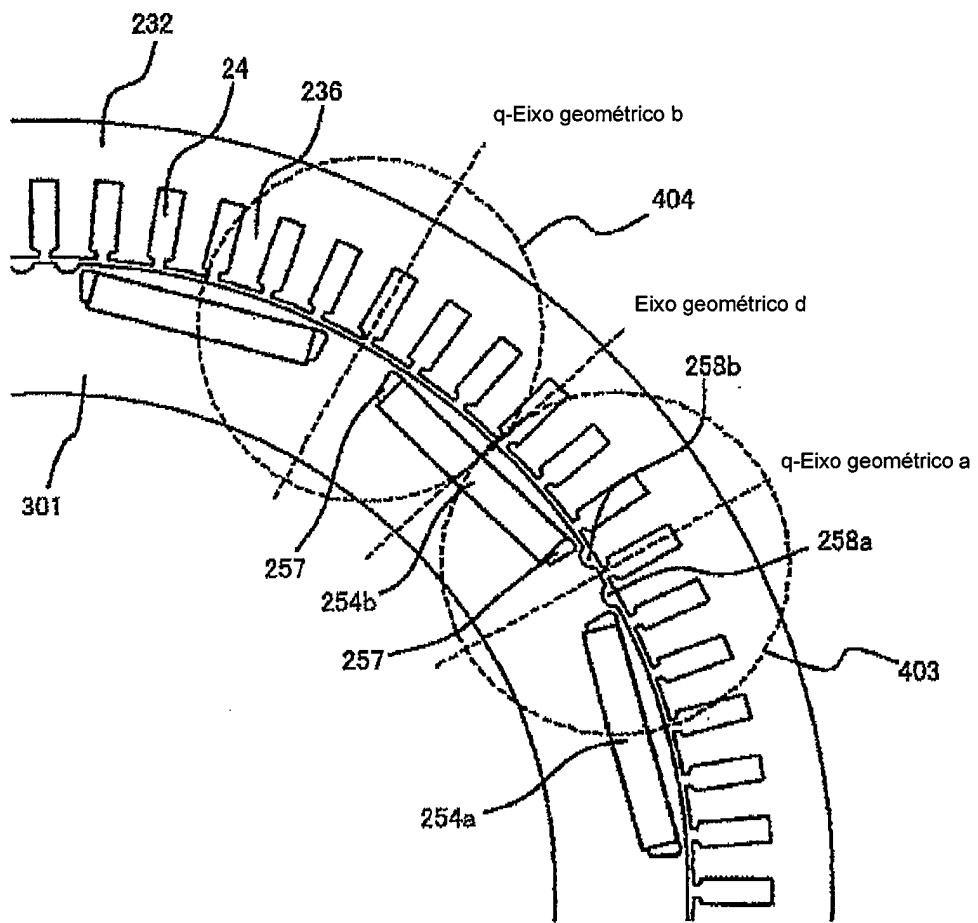


FIG.21(b)

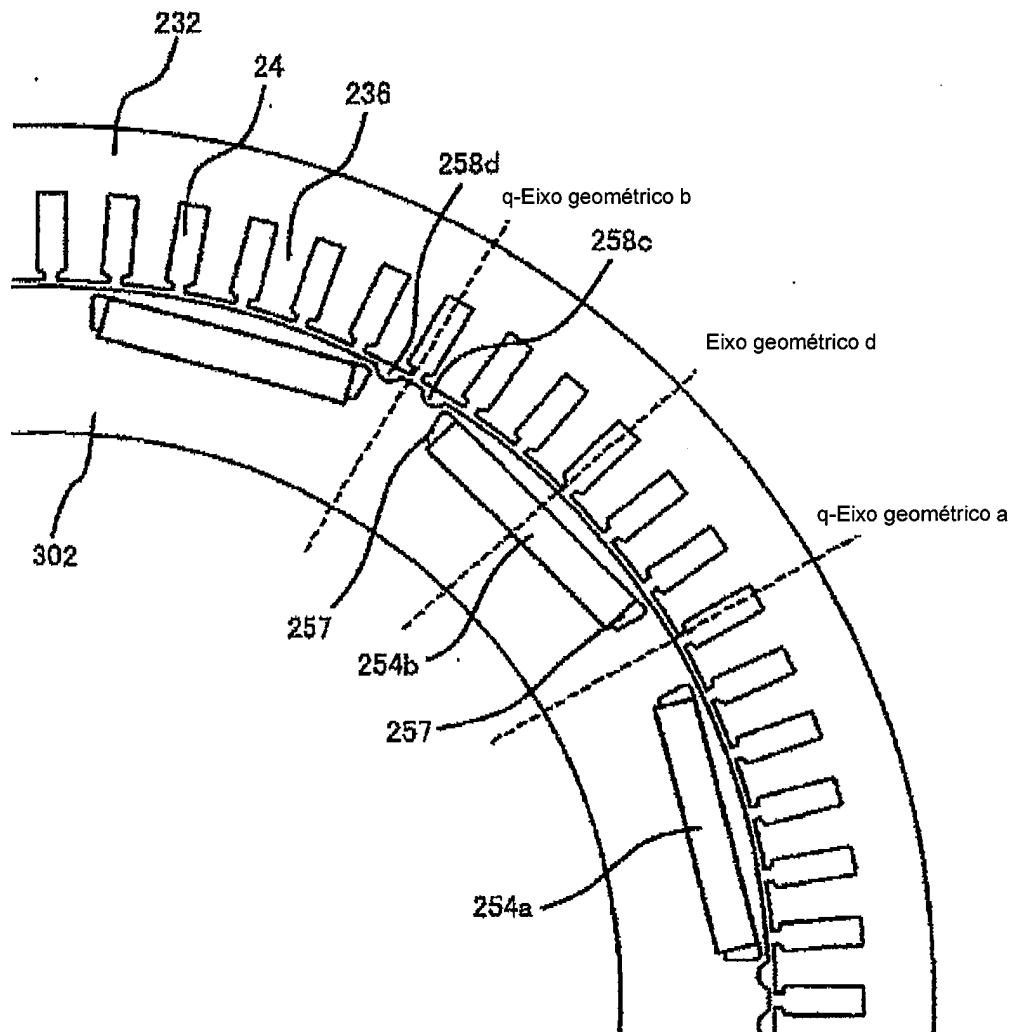


FIG.22(a)

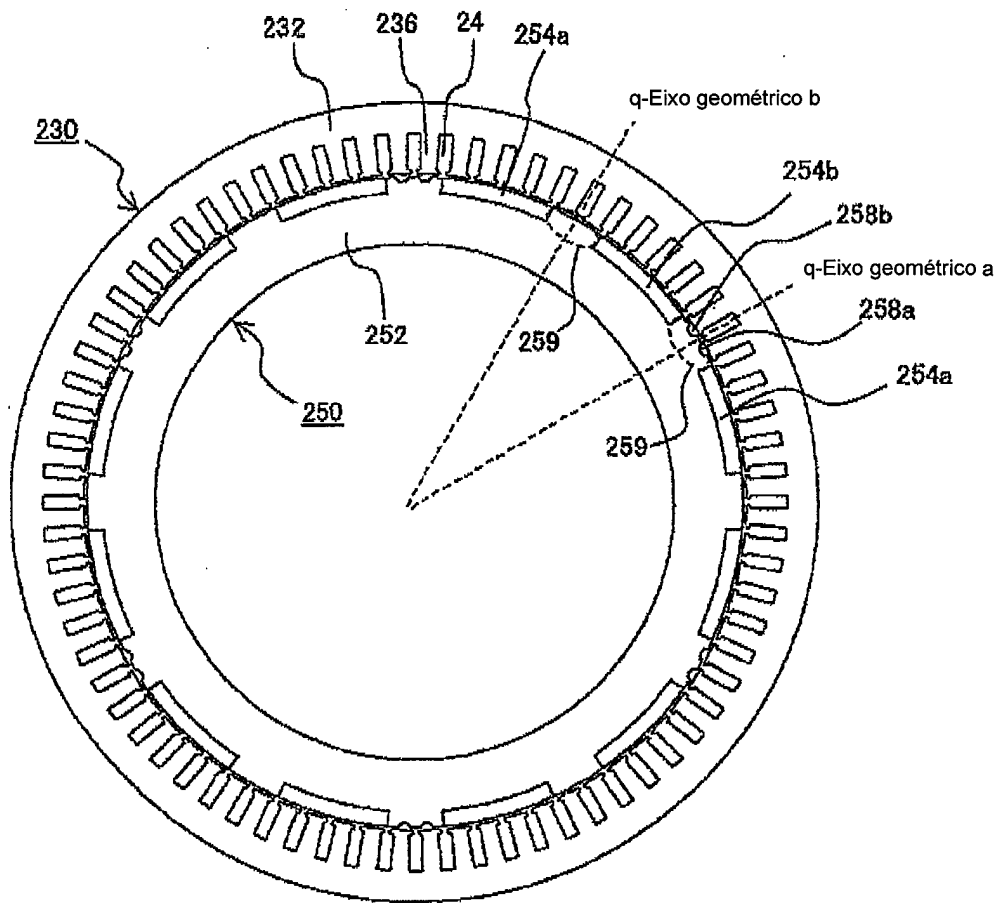


FIG.22(b)

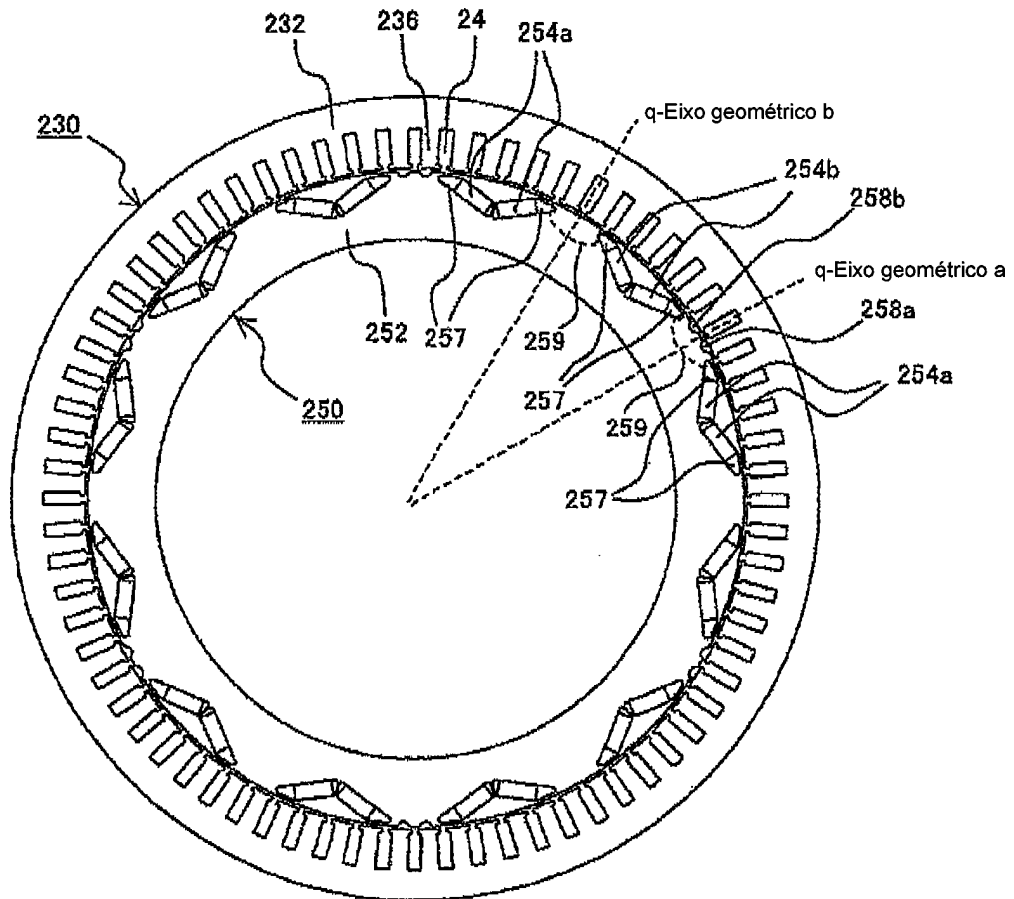


FIG.23

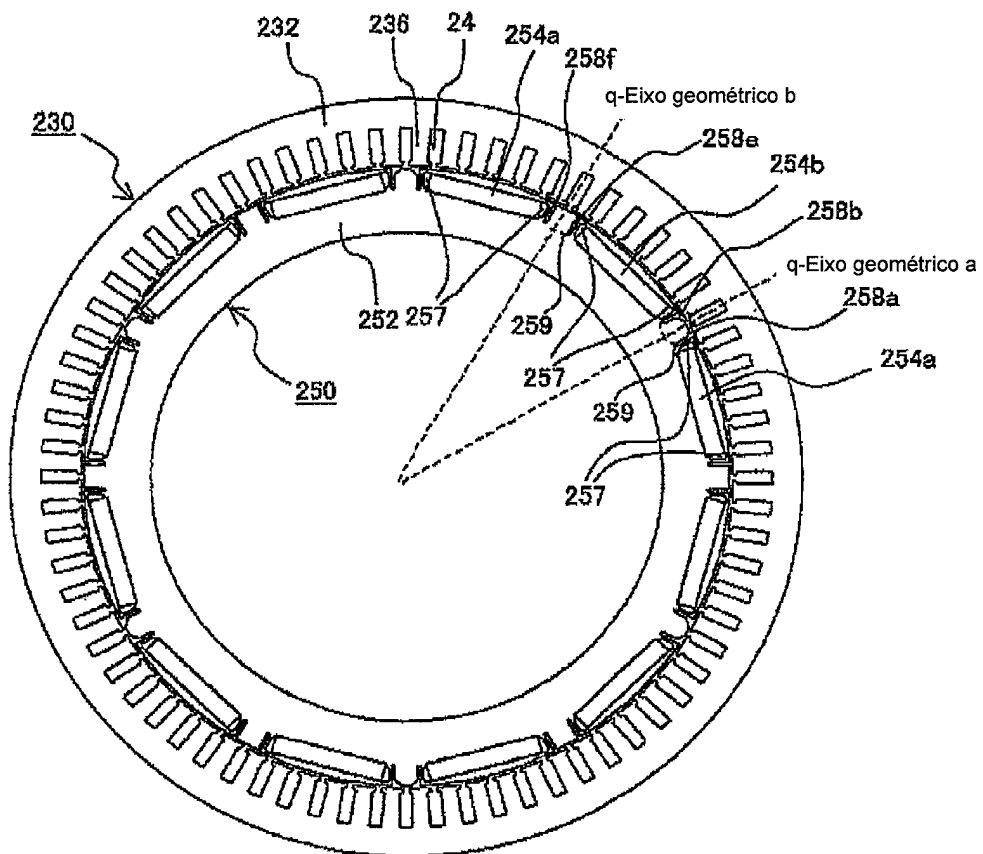


FIG.24(a)

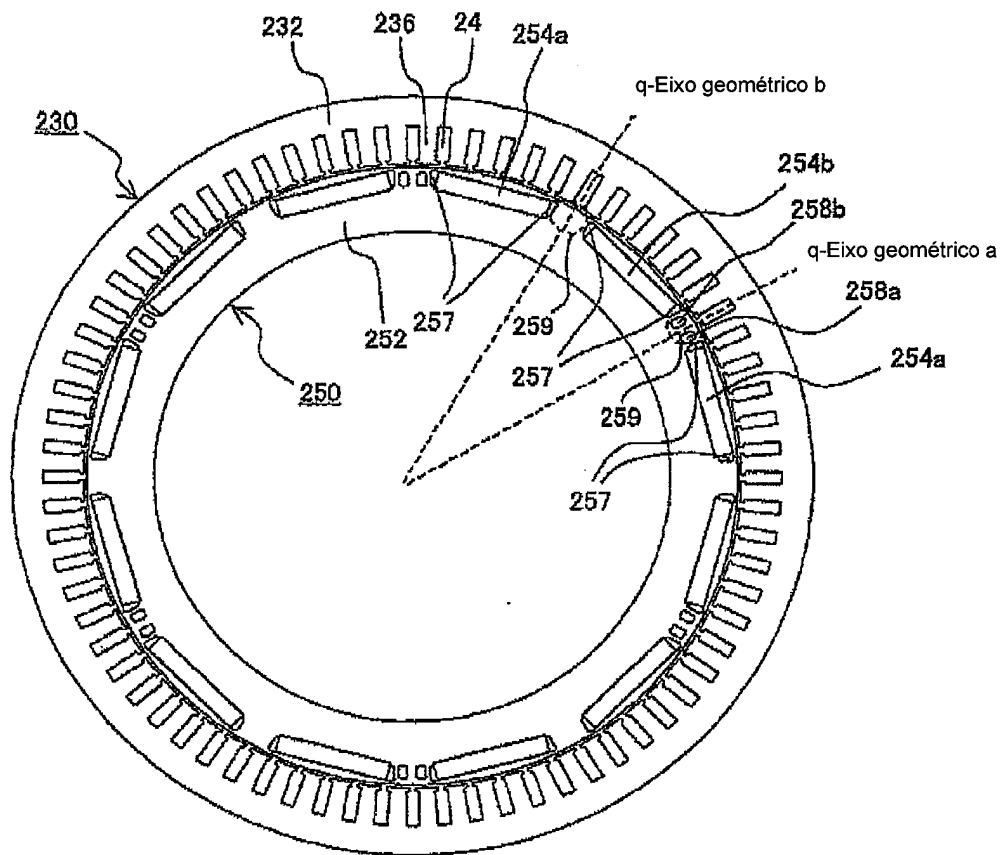


FIG.24(b)

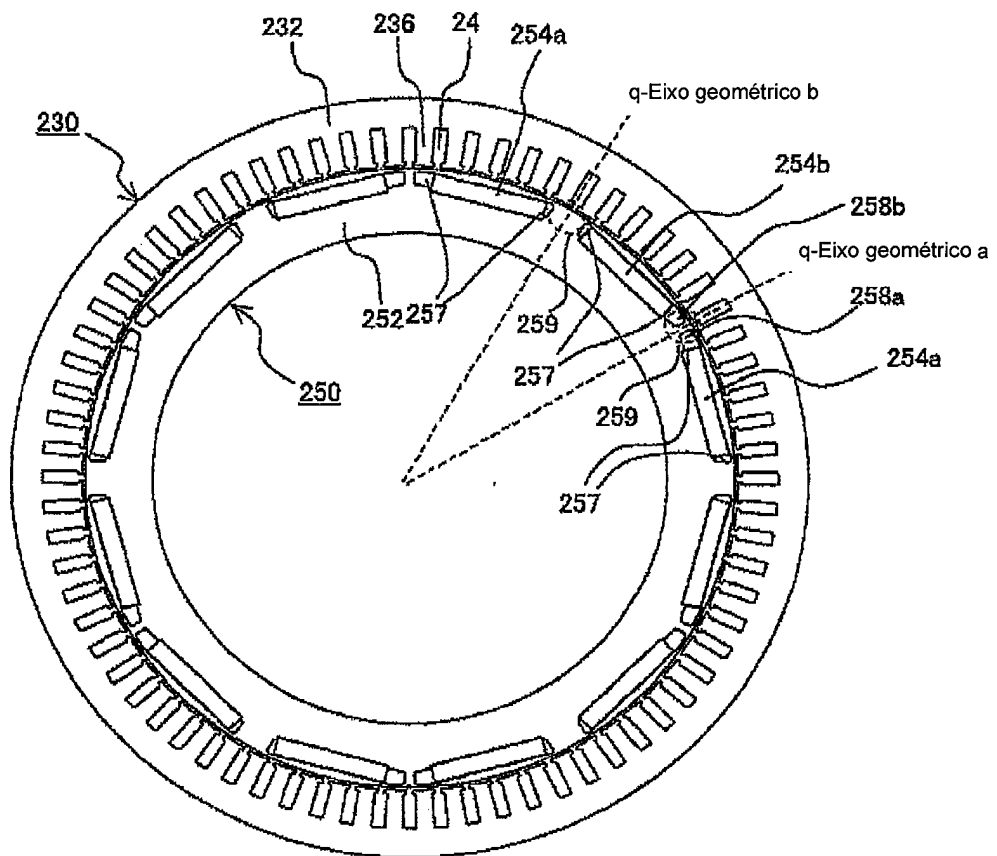


FIG.24(c)

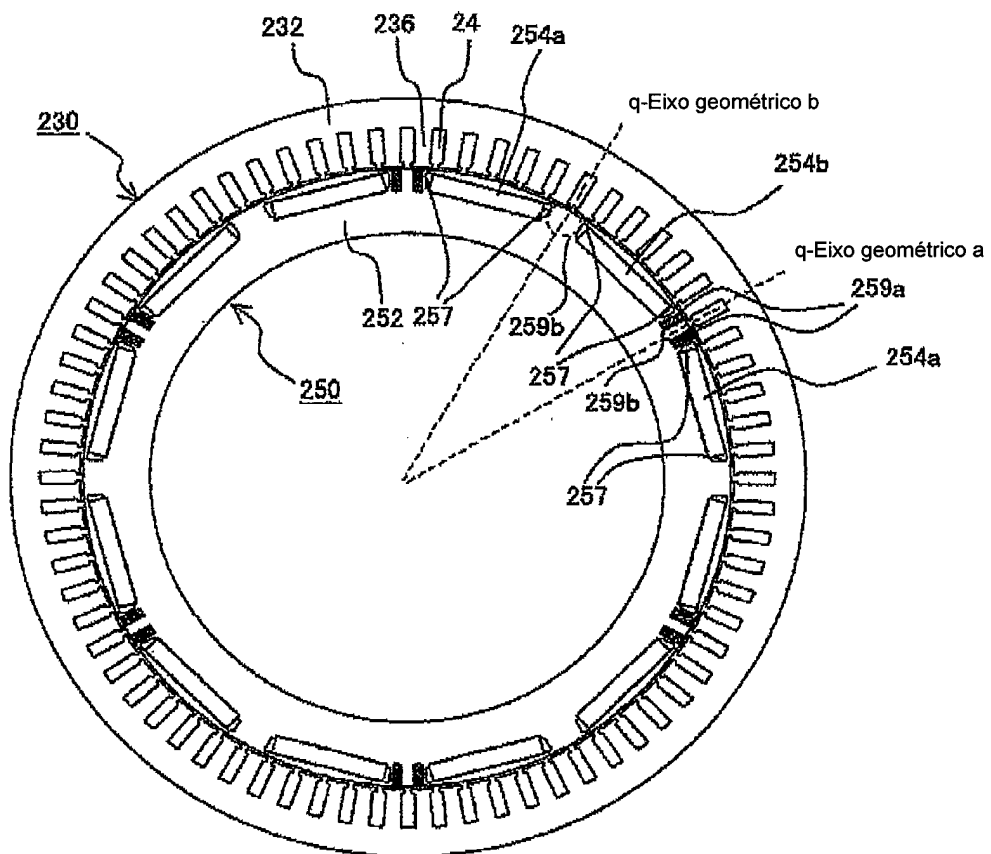


FIG.25

